

## 6.3 イランにおける環境の現状

### 6.3.1 大気汚染の現状

イラン・イスラム共和国（以下イラン）では、かねてから、主に大都市で大気汚染に関する問題が浮上している。以下に述べるのは、特にテヘランにおける大気汚染の推移および現状についてである。

#### (1) テヘランにおける大気汚染の推移

図6.3(a)～6.3(d)はテヘランの大気中の $\text{SO}_2$ 、SPM、煤煙、鉛の濃度を測定した結果を示したものである。図はUNEP（国連環境計画）<sup>\*1)</sup>、世界銀行<sup>\*2)</sup>発表のデータを使用して作成している。また、イランの新聞から引用したものもある。図中の大気測定値は年平均値である。

##### 1) 二酸化硫黄

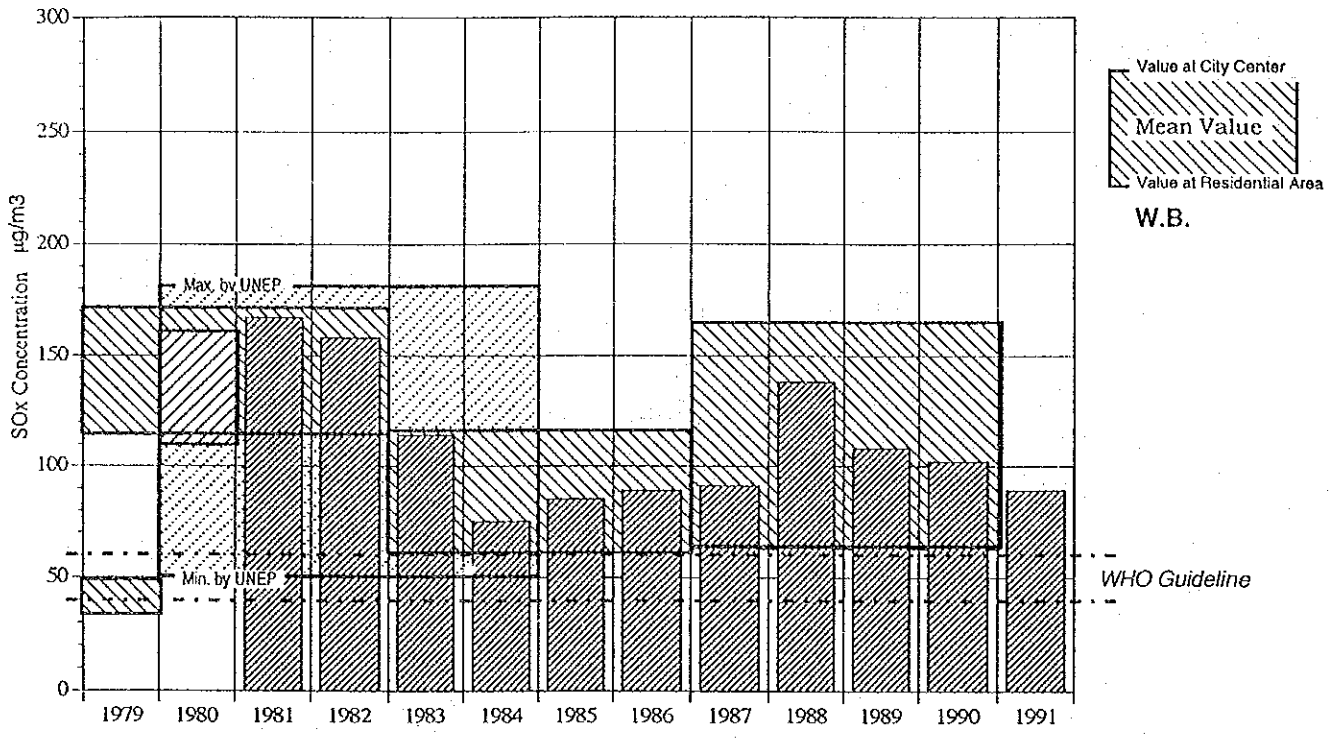
図6.3(a)はテヘランの $\text{SO}_x$ の濃度に関する推移を示したものである。図中の右上から左下に引かれた対角線（実線）は、さまざまな観測地点での測定結果の年平均値を示している（世界銀行によるデータ）。図中の一番上の線は市の中心部の平均値、一番下の線はテヘラン郊外の住宅地の平均値を示している。観測地点は都市中心部の商業地区、都市中心部の住宅地、郊外の住宅地に分かれており、14ヵ所ある<sup>\*2)</sup>。

左上から右下に引かれた対角線（実線）はWHO（世界保健機関）/UNEPの大気観測計画で測定された1980年～1984年のデータを使用したものである。図の範囲は年ごとに計算した中間値の平均を表している。3ヵ所の観測地点は都市中心部の商業地区、郊外の工業地区、郊外の住宅地区である<sup>\*1)</sup>。点線は個々の観測地点で年ごと平均の範囲を示している。図の上方は観測地点での年ごとの平均の最高値を、下方は最低値をそれぞれ表している。データはWHO/UNEPの報告書から引用したものである<sup>\*1)</sup>。

棒グラフはさまざまな観測地点で測定された年ごと平均の中間値を表している。

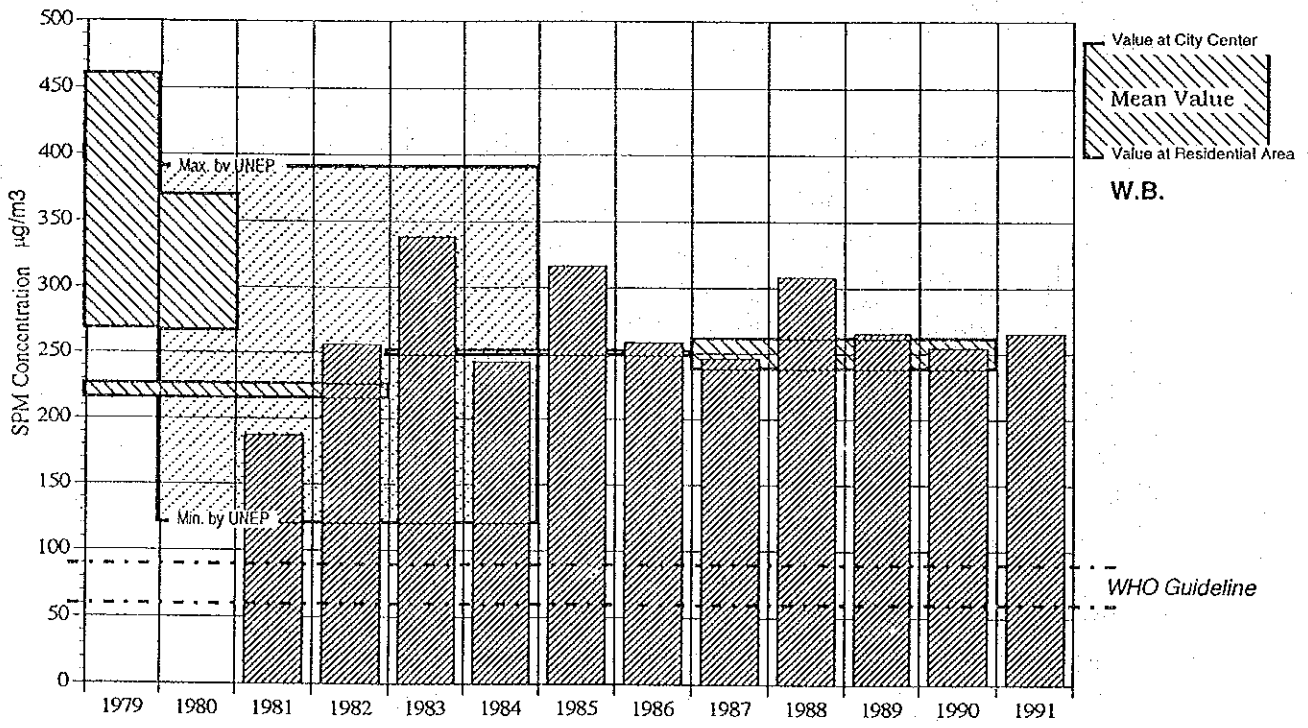
図が示すとおり、テヘランにおける $\text{SO}_2$ の濃度はかなり低くなっていると考えられる。しかしながらこれらの測定値は、現在1立方メートルにつき0.04～0.06mgというWHOの規準を大幅に上回っている。

Fig. 6.3(a) SO<sub>x</sub> Concentration in Tehran (Annual Averages)



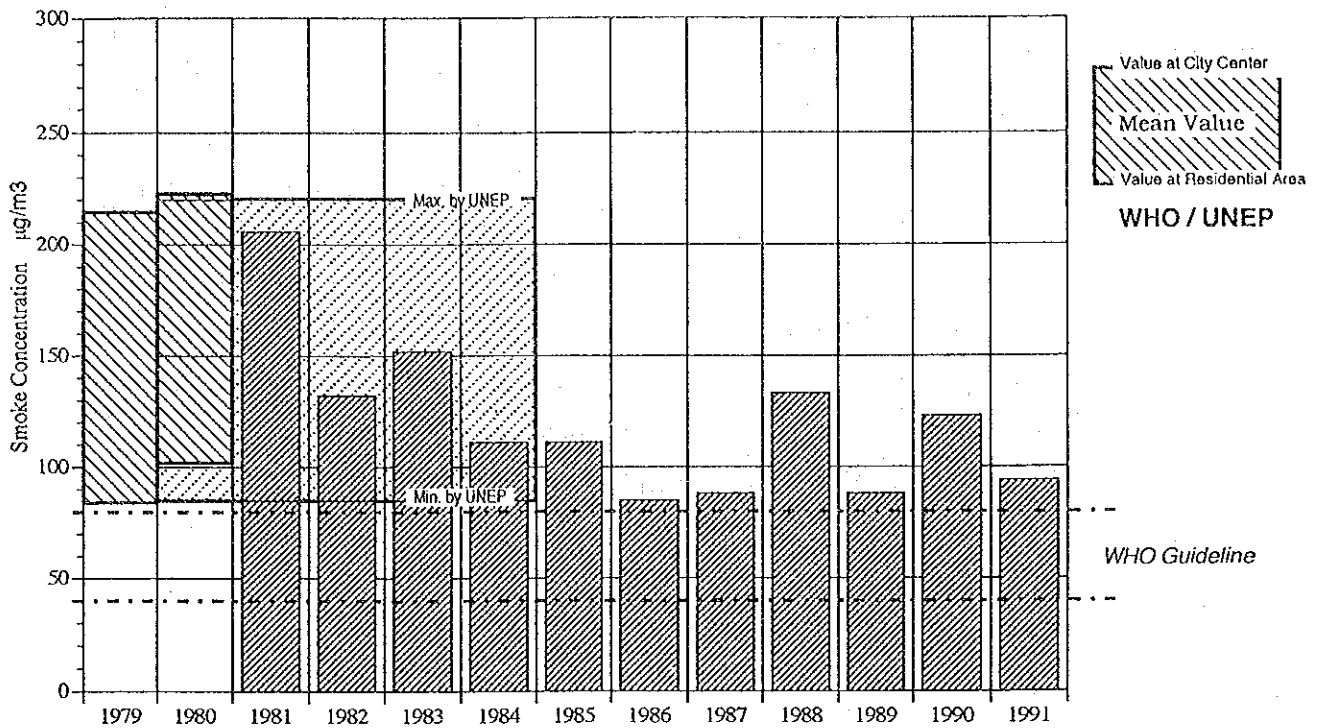
Source ; UNEP, WHO, WB and Others

Fig. 6.3(b) SPM Concentration in Tehran (Annual Averages)



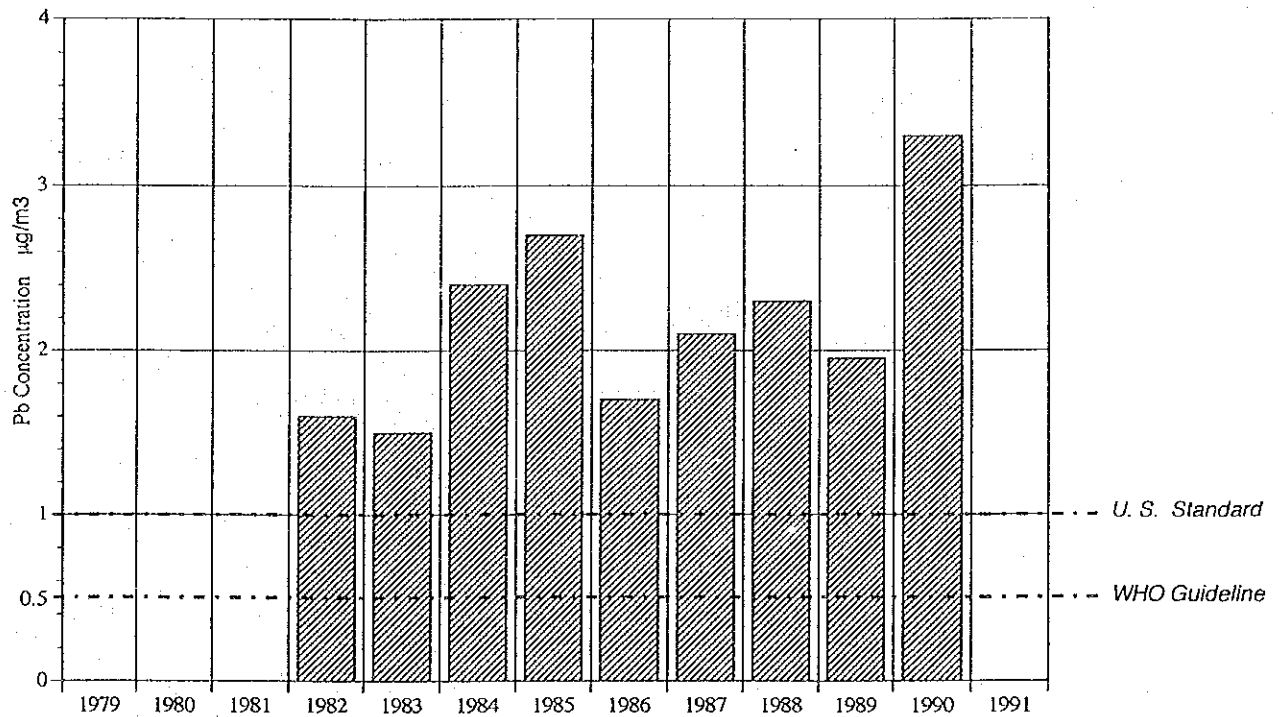
Source ; UNEP, WHO, WB and Others

Fig. 6.3(c) Smoke Concentration in Tehran (Annual Averages)



Source ; UNEP, WHO and Municipality of Tehran

Fig. 6.3(d) Pb Concentration in Tehran (Annual Averages)



Source ; Municipality of Tehran

## 2) SPM

図6.3(b)は大気中のSPMの濃度の推移を示したものである。前述のとおり、対角線、点線、棒グラフが描かれている。このグラフからも分かるように、SPMの濃度が最近では低くなっているのかどうかははっきりしない。WHOの規準は、1立方メートル当たり0.06~0.09mgとなっているが、測定した結果は、その規準の3倍~4倍である。

## 3) 煤 煙

図6.3(c)は大気中の煤煙の濃度の推移を示したものである。この図もWHO/UNEPの報告書その他から引用したデータで作成している\*11。対角線と点線に囲まれた図の上方は、個々の観測地点で測定した年ごとの平均の最大値を、図中の下方は最低値をそれぞれ示している。棒グラフは新聞の記事を利用して作成した(Hamshahri紙、1993年9月11日、「大気汚染防止に向けた新たな努力」より)。図に示すとおり、煤煙の濃度は徐々に低くなっている。1991年の年間中間値は、1立方メートル当たり0.04~0.08mgというWHOの規準をわずかに上回っていたにすぎない。

## 4) 鉛

図6.3(d)は大気中の鉛の濃度の推移を示したものである。図中のデータも上記新聞から引用したものである。図に示すとおり、鉛の濃度は急激に高くなっている。WHOの規準は1立方メートル当たり0.5~1.0mgであるが、1990年の年間中間値は3.3mgであった。

## (2) テヘランの大気汚染の月間および1日の推移

地元新聞によると(Hamshahri紙、1993年11月30日、「テヘランにおける大気汚染の危機」参照)、1年のうちおよそ240日間は、テヘランの天候が独特の気象条件のもとで大気層の逆転現象を引き起こしている。それは、吹いてくる風がテヘラン北部のエルブルズ山脈に妨げられることがよくあるからである。最も汚染がひどいのは晩秋と初冬である。テヘラン市では平日は常に大気が汚染されており、特にひどいのは8時~11時、16時~20時である。大気中の汚染物質は午前中は北部、北東部を移動し、午後は南、南西を移動する。

表6.3は昼間(6~18時)の大気のもよりの平均値を示したものである。表にはNO<sub>x</sub>の濃度は含まれていないが、秋と冬には多くの炭化水素の発生が確認されている。

Table 6.3 Monthly Average Values of Selected Ambient Air Quality (1988)

	SO <sub>2</sub> (ppm)	THC (ppm)	SPM (mg/m <sup>3</sup> )
July	0.014	6.81	48.00
August	0.010	8.65	48.50
September	0.017	10.14	36.00

Source : Municipality of Tehran

表6.4は、平日および毎週木曜日の測定結果を示したものである（1988年7月、8月、9月）。表は木曜日の平均値（SO<sub>2</sub>の濃度を除く）が他の平日の値より高いことを示している。炭化水素とSPM（浮遊粒子状物質）については、テヘラン市中心部で実施されている交通規制の効果が表れていることが、これらのデータから読みとれる。土曜日から水曜日にかけてはテヘラン市中心部で交通規制が行われており、昼間は特別な許可を得た車だけしか通行することはできない。木曜日と金曜日は、あらゆる種類の車がテヘラン市内の通行を許可されている（テヘラン市役所、1993年2月、「テヘランにおける総合大気汚染防止計画」）。SO<sub>2</sub>の濃度が低くなるかどうかは、テヘラン市にある中小工場の稼働次第であると考えられる。

Table 6.4 Average Ambient Air Quality of Weekdays and Thursday (1988)

	SO <sub>2</sub> (ppm)	THC (ppm)	SPM (μg/m <sup>3</sup> )
Saturday to Wednesday	0.014	8.90	41.30
Thursday	0.014	9.50	47.60

Source: Municipality of Tehran

以下は、1989年におけるEPOによる大気測定の結果を簡単にまとめたものである。

- a) THC : 測定値は、24時間平均で、冬には23.5ppm、春には9.4ppmを記録している。最低値は週末の早朝2時～4時の間であった。これらの低い値は、汚染物質の濃度と交通量とが反比例していることを示していると思われる。早朝時の交通量は少ない。
- b) CO : 24時間の平均が1立方メートル当たり6.9, 6.13, 7.4ppmというデータは、秋と冬のためのデータである。金曜日と早朝の測定値は非常に低かった。
- c) SO<sub>2</sub> : 気体の測定値は、秋と冬には24時間の平均が0.011～0.072ppmを示していた。最低値は金曜日と早朝であった。
- d) NO : 秋と冬の測定値は、0.076～0.046ppmと異なっていた。最高値は平日の労働時間中、交通量が多い時間帯に記録された。

c) NO<sub>2</sub> : 1989年の濃度は、春になる前の1ヵ月間は0.09ppm、秋の終わりには0.021 ppmと異なっていた。

(3) 国際機関によるテヘランの大気汚染評価

1) 世界銀行

世界銀行発行の“Selected Ambient Air Quality Indicators for Various Cities”, 『世界各都市の大気指標抜粋』（付録を参照）によると、テヘランのSO<sub>2</sub>とSPMの濃度は高い値を示している。SO<sub>2</sub>については、1987年から1990年にかけてのCCC（都市中心部商業地区）での値とSR（郊外住宅地）での値が、他の中間所得国の都市と比べて非常に高くなっている。テヘランは、北京、瀋陽など低所得国の都市の中でも最悪である。これらの都市では、あらゆる産業部門で石炭が主要エネルギーとして使用されている。

1987年から1990年にかけてのSPMの濃度の値に関しても、CCCでの値とSRでの値は、中間所得国の中で最悪である。低所得国の都市と比べても、都市中心部商業地区の値は、西安、瀋陽、北京に次いで1番目に高くなっている。SRでの値は表中のラホールに次いで2番目に高い。

2) WHO/UNEP

1973年、UNEP環境基金の援助でWHO大気観測計画が始まった。WHO加盟国から収集されるデータは、世界環境観測制度（GEMS）のもとで保管され、公開される。

1980年から1984年にかけてのGEMSのデータを見ると、テヘランのSO<sub>2</sub>の濃度の年平均値は上海、瀋陽に次いで3番目に高くなっている。SPMの年平均値は、クウェート、瀋陽、西安、ニューデリー、北京、カルカッタに次いで7番目に高く、煤煙の年平均値は第1位である。

表6.5はいくつかの汚染物質の濃度が臨界値を超えた日数を示したものである。

Table 6.5 Number of Days per Year with Levels Exceeding Critical Values (1980-1984)

	SO2 (µg/m3)		SPM (µg/m3)		Smoke (µg/m3)	
exceeded	150		230		150	
	Shenyang	236	Shenyang	347	Santiago	299
	Milan	167	Tehran	347	Tehran	249
	Tehran	163	Delhi	338	Madrid	126
	Beijing	157	Beijing	338	Wroclaw	73
	Seoul	121	Calcutta	330	Sao Paulo	52

Source : WHO/UNEP

Table 6.6 Number of Days per Year with Levels Exceeding Critical Values  
(as of 1992)

	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		SPM (µg/m <sup>3</sup> )		Smoke (µg/m <sup>3</sup> )	
exceeded	150		230		150	
	Shenyang	236	Tehran	347	Tehran	249
	Tehran	162	Shenyang	347	Santiago	220
	Milan	157	Xian	327	Madrid	126
	Seoul	121	Jakarta	268	Wroclaw	73
	Xian	114	Manila	225	Sao Paulo	52

Source : Hamshahri, Jan. 19, 1993

最近のWHOの報告書の概要が新聞に掲載されている（Hamshahri 紙，1993年1月19日，「最も汚染された都市テヘラン」）。表6.6に示すとおり，WHOの報告書では，世界の大都市が煤塵（SPM），SO<sub>2</sub>，THCによる汚染度別にリストアップされている。1992年にはテヘランが最も汚染された都市であった。テヘランはTHCの濃度では第1位，SPMでも中国北部の瀋陽とともに第1位，またSO<sub>2</sub>では瀋陽に次いで第2位にランクされている。

THC（煤煙）の臨界値は，表6.6に示すとおり，1立方メートル当たり150mgである。テヘランでは，この水準を超えた日が年に249日あった。テヘランの大気中のSPMの濃度も，1年のうち347日間は臨界値を上回っている。SO<sub>2</sub>の濃度は年に162日間臨界値を超えている。注目すべき点は，4年前には汚染された都市のリストに載っていたアテネとクアラルンプールが1992年のWHOの報告書には載っていないということである（Hamshahri紙，1993年1月19日，「最も汚染された都市テヘラン」）。

#### (4) 簡易サンプラーによる測定結果

イランのいくつかの大都市における大気中のSO<sub>2</sub>とNO<sub>2</sub>の濃度の大きな状況を把握するため，本調査チームはテヘラン，タブリーズ，アフズ，マシャドの各都市の戦略地点に主に夏の期間，簡単なカプセルタイプのサンプラーを数多く置いてみた。測定後，日本で分析が行われた。各測定の結果は表6.7に示すとおりである。測定手順と測定から得られた数字は時間や測定期間（4～6週間のみ），測定範囲や各サンプルの取扱方法に制限があったため（信頼できる人物や機関に依頼したため，サンプルの大半は住宅地に置かれた），完全に信頼できるものではないと思われるが，いくつかの傾向は観察できると思われる。

NO<sub>2</sub>の濃度は，テヘランとマシャドを除き，WHOの基準値とアメリカの基準値をとともに下回っていたことが分かる。SO<sub>2</sub>の濃度については，テヘランのいくつかの値を除き，WHOの規準に照らしてみると測定値は比較的低い。だが，もしこれらのサンプルを交通量の多い中心街や経済活動の盛んな工業地区に多く置いた場合，あるいは夏以外の季節，特に

Table 6.7 SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> Concentrations in Major Cities  
(Results measured by use of the Simplified Air Samplers)

Name of City	NO. of Sampler	Measurement Period	Area located	NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>	
				(ppb)	(mg/M <sup>3</sup> )	(ppb)	(mg/M <sup>3</sup> )
Tehran	1	1992. 9.28- 10.28	Commercial	120	0.246	6	0.017
	2	ibid.	Residential	94	0.193	21	0.060
	3	ibid.	Administrative	57	0.117	18	0.051
Tabriz	T-1	1993. 8. 9- 9. 5	Residential	58	0.119	3	0.009
	T-2	1993. 8.17- 9.21	Residential	40	0.082	1	0.003
	T-3	1993. 8.11-10.17	Administrative	55	0.113	4	0.011
	T-1	1993. 8. 1- 9. 1	Residential	21	0.043	1	0.003
	T-2	1993. 8. 4- 9. 7	Administrative	45	0.092	3	0.009
	T-3	1993. 7.18- 8.23	Residential	18	0.037	1	0.003
Ahwaz	1	ibid.	Residential	17	0.035	1	0.003
	2	ibid.	Residential	20	0.041	1	0.003
	3	ibid.	Residential	29	0.059	1	0.003
	4	ibid.	Residential	17	0.035	1	0.003
Mashhad	A-1	1993. 8.12- 9.12	Residential	31	0.064	4	0.011
	A-2	ibid.	Residential	15	0.031	1	0.003
	A-3	ibid.	Residential	11	0.023	4	0.011
	A-4	ibid.	Residential	45	0.092	1	0.003
	M-1	1993.10. 9-11.13	Commercial	19	0.039	1	0.003
Mashhad	M-2	1993.10. 9-11.13	Commercial	60	0.123	1	0.003
	M-3	1993.10. 9-11.13	Residential	55	0.113	1	0.003
	M-4	1993.10. 9-11.13	Commercial	43	0.088	1	0.003
	M-5	1993.10. 9-11.13	Commercial				

Note : WHO Guideline NO<sub>x</sub>=0.150 mg/M<sup>3</sup>=73 ppb (24hrs), SO<sub>x</sub>=0.040-0.060 mg/M<sup>3</sup>=14-21 ppb (Annual value)

: US Standard NO<sub>x</sub>=0.100 mg/M<sup>3</sup>=50 ppb (annual Value)

: Correct values for Calculations of NO<sub>2</sub> Concentrations;

Tehran	Aug.-Sept. : Temperature=26.65 C, Moisture=21.5 %
	Oct. -Dec. : Temperature=14.45 C, Moisture=38.5 %
Tabriz	July-Aug. : Temperature=29 C, Moisture=20 %
Ahwaz	Aug.-Sept. : Temperature=31.15 C, Moisture=63.5 %
Mashhad	Aug.-Sept. : Temperature=22 C, Moisture=29.5 %



気象条件がより不安定で、各家庭の暖房で比較的空気が汚れる秋や冬に測定した場合は、これらとは異なる値になっていたと思われる。

<参考文献>

\*1) WHO/UNEP: "Air Quality in Selected Urban Areas, 1979-1980"  
"Assessment of Urban Air Quality, 1989"

\*2) 世界銀行: World Table, "Selected Ambient Air Quality Indicators for Various Cities"

### 6.3.2 汚染物質と発生源

エネルギー消費部門での主な汚染物質の発生源は、一般的に以下に挙げるとおりである。

- 油田でのフレアリングまたは燃焼。原油生産量の10~15%
- 製油所。投入原料の5~10%
- 100ン/時間以上の重油だきボイラー
- 低級(硫黄濃度が高い)燃料を燃やすガスタービン
- 低級燃料油を燃やす中小工場
- 大規模製鉄所
- 人口100万人以上の大都市
- 自動車

#### 6.3.2.1 固定発生源

以下に引用する新聞の記事は、固定発生源から発生する汚染の状態をレポートしたものである。

「ハマダン地方(テヘラン西部)には1,200もの煉瓦製造窯があり、そのため、この地域がテヘランに次いで、イランで2番目に汚染がひどい地域になっている。1,200の窯全体では、年間およそ7,000万リットルの燃料を燃やしている。シャルマハール地方(イラン南西部)には200の煉瓦製造窯があり、産業廃棄物を増やしているだけでなく大気汚染をも拡大し、農地を作物の育たない不毛な土地にしている。EPOの現地事務所は、窯の経営者に対し、燃焼方法を変えさせたり近代設備を導入させるために融資することを決めている。統計によると、この産業に従事する労働者の約17%は病に冒されている。アラク市では、20社の大企業と1,000社の中小企業の工場が環境問題、とりわけ大気汚染の原因となっている。この市を汚染する一酸化炭素は毎年120万トンに上り、これはテヘランの3倍の数字である。アラク市全体のおよそ20%は工場が立ち並ぶ地域で、あらゆる病気の中でも呼吸器系の病気の発生率が最も高くなっている。」(Ilamshahri紙、1993年9月30日、「イランの3地方における大気汚染」)

「最近、テヘランは固定発生源から発生する大気汚染に苦しんでいる。たとえば、11月29日と30日はテヘランで今年最も汚染のひどかった日で、EPOは市民に対し、外出をしないで家の中にいるようにと警告を出した。12月1日にも同じ警告が出された。EPO事務所は、テヘラン、コム、ヴァラミン、カラジにあるセメント、アスファルト、革・靴、石鹼、織物工場など36の製造部門に対して一時操業を停止するよう要請した。EPO事務所は、さらに15の製造部門に対し、工場から発生する大気の汚染物質を一掃するよう勧告を出した。」(Hamshahri紙、1993年12月1日、「テヘランで36の汚染工場が操業停止」)

別の記事によると(Hamshahri紙、1993年8月4日、「テヘラン：ますます呼吸が困難に」)、テヘランに次いでイランで最も汚染のひどい都市はマシャド、イスファハン、シラズ、タブリーズ、アラクである。

#### (1) 固定発生源から出る汚染物質

表6.8は、汚染物質と固定発生源を分類し、それらの対策を提案したものである。

#### (2) 工場別汚染物質発生量の推定

データや情報を収集し、環境問題と関連した固定発生源の大まかな状況を把握するため、本調査チームは1993年2月から8月にかけて28の工場(主に発電所、製鉄所、製油所、砂糖製造工場、煉瓦製造工場などのエネルギー集約産業)について調査を実施した。

表6.9は訪問した工場でのSO<sub>x</sub>およびNO<sub>x</sub>の発生量を推定したものである。CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、HCなどの汚染物質の発生率は、エネルギー管理の実際の運用データが利用できる範囲で、各工場での燃料使用条件や発生要因を基に見積もったものである。主要な発生源は発電所、製油所、製鉄所であった。表6.9に示すとおり、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>の推定発生量はイラン全体の3分の2を占めている。NO<sub>x</sub>は、ほとんどが工場以外のところから発生していると推定される。

表6.10、表6.11は、主要な汚染物質の発生源だと見られる発電所および製油所の推定発生量の結果を示したものである。

推定では、COガスの形成は、こうした主要工場の最近の燃焼技術による燃料の燃焼設備ではごくわずかであると考えられる。しかし、この燃焼設備で発生するNO<sub>2</sub>ガスの形成は、燃料のNの含有量や使用されている設備の種類、運転の仕方によっても異なるものと見られる。したがってNO<sub>2</sub>の発生量は、さまざまな種類の燃料や運転の仕方のもとで得られる経験的データを参照する必要があると思われる。以下は、各種産業の汚染物排出率を計算するに当たり、検討すべき点である。

Table 6.8 Emission Sources and Countermeasures

1) Iron and Steel Industry

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Sinterer, Furnace	Reduce S content in feed & fuel
	NOx	Sinterer, Furnace	Low-NOx burner, Low-air ratio burning
	Dust	Various places	Water spray, Collector, Cover, Closed space dust collecting
Water	COD	Coker, Rolling mill	Bio-treating, Coagulation precipitation, Floating
		Cold mill pickling Hot, Cold rolling mill	Separation, Neutralization Natural(Coagulation, Pressurizing) floating separation
Waste	Slag	Blast, Rolling, Electric furnace	Re-utilization(for Cement, Civil materials)
	Dust	After collection	Recycle to applicable feed
Noise		Various places	Curtailing at sources, Shelter, Enclosure
Others			Plantation on premises, Telemetering system

2) Electric Power Generation

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Boiler	Reduce S content in fuel, Flue gas desulfurization, High stack
	NOx	Boiler, Gas turbine	Low-NOx burner, 2-stage burning, Flue gas denitrification, High Stack
	Dust	Boiler	Electrostatic precipitator
	CO2	Boiler, Gas turbine	Comprehensive efficiency improvement(introducing cogeneration)
Water	Heat	Condenser	Cooling tower
Noise		Various places	Curtailing at sources, Shelter, Enclosure
Others			Plantation on premises, Telemetering system

3) Petroleum Refinery

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Boiler, Furnace	Reduce S content in fuel, Flue gas desulfurization, Integrated high stack, Sulfur recovery
	NOx	Boiler, Furnace	Low-NOx burner, Modified burning, Flue gas denitrification
	CO2	Boiler, Furnace	Energy saving
	Smoke	Flare stack	Smokeless burning, Waste gas recovery
Water	Oil	Process, Ballast, Seal	Oil separator, Biochemical treatment
Waste	Oil	Oil separator	Recycle to feed, or fuel
	Sludge	Water treater	Dewatering and utilization as cement feed, etc.
Noise		Various places	Curtailing at sources, Shelter, Enclosure
Others			Plantation on premises, Telemetering system

## 4) Petrochemicals

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Boiler, Furnace, Reactor	Reduce S content in fuel, Integrated high stack, Flue gas desulfurization
	NOx	Boiler, Furnace, Reactor	Low-NOx burner, Modified burning, Flue gas denitrification
	CO2	Boiler, Furnace, Reactor	Energy saving
	Smoke	Flare stack	Smokeless burning, Waste gas recovery
Water	Oil	Process, Seal	Oil separator, Biochemical treatment
	COD	Process	Neutralization, Biochemical treatment
	Settlement Well		Decrease well water use
Waste	Oil	Oil separator	Dewatering and Incineration
	Sludge	Water treater	Dewatering and Incineration
Noise		Various places	Curtailing at sources, Shelter, Enclosure
Others			Plantation on premises, Telemetering system

## 5) Gas Processing

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Process	Feed conversion(Coal->Heavy oil->LPG ->LNG)
	NOx	Process	Feed conversion(Coal->Heavy oil->LPG ->LNG)

## 6) Pulp and Paper Industry

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Boiler	Reduce S content in fuel, Fuel conversion to gas
	NOx	Boiler	Low-NOx burner, Modified burning
Water	SS, Color	Wood Preparation, Digesting, Paper machine	Coagulation precipitation
	COD	Digesting, Breaching	Neutralization, Biochemical treatment
Waste	Sludge	Water treater	Dewatering and Incineration
Others			Plantation on premise

## 7) Cement Industry

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Negligible	Production process absorbs sulfur
	NOx	Cement kiln	New suspension preheater, Modified burning
	Dust	Various places	Water spray, Collector, Cover, Closed space collecting
	CO2	Cement kiln	Energy saving
Noise		Various places	Curtailing at sources, Shelter, Enclosure
Others			Plantation on premises, Telemetering system

8) Sugar Industry

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Boiler	Reduce S content in fuel, Fuel conversion to gas
	NOx	Boiler	Low-NOx burner, Modified burning
Water	SS	Flume discharge	Coagulation precipitation
	COD	Steffen process	Biochemical treatment
Waste	Sludge	Water treater	Dewatering and Incineration

9) Glass Industry

Category	Pollutant	Process Source	Countermeasure
Air	SOx	Melting Furnace	Reduce S content in fuel, Fuel conversion to gas
	NOx	Melting Furnace	Low-NOx burner, Modified burning

1) 発電所

- a) 原則的には、排ガスの排出率は燃料のガスや石油の実際の消費から算定すべきである。しかし、実際のデータの入手可能性に応じて、従来からの方法である全体の生産能力や運転効率からも検討する必要がある。
- b) 燃料ガスによる排気は、実際のガスの構成物質や常時燃焼の状態での生産能力から推定する。
- c) 燃料ガスの排気は、常時燃焼の状態での標準炭素含有量と実際の硫黄含有量から推定する。

2) 製油所

- a) CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, 炭化水素などの汚染物質の排出率は各製油所での運転の際のエネルギーバランス、たとえば燃料管理や損失などから推定する。
- b) 燃料ガスやコンデンセートの燃焼による排気は、それらの構成物質や消費率から推定する。
- c) 中間留分、残渣油、廃油などの燃料油の燃焼による排気は、炭素の標準含有量や当該燃料に実際に含まれる硫黄の含有量から推定する。常時燃焼の状態を実際の運転であると仮定する。

3) ガス処理工場

- a) 汚染物質の排出率は、完全燃焼の状態での運転に使用される燃料ガスやコンデンセートの構成物質から推定する。
- b) 噴出ガスや全炭化水素の損失は、運転データが利用できない場合は、投入原料と製造量のバランスから推定する。

Table 6.9 Estimation of Emission Volume from Factories

Factory Name	Location	Fuel Consumption			SOx Emission		NOx Emission		
		Gas Oil (1000L)	IFO (1000L)	N.G. (1000m3)	Coal (Ton)	1992 (1000/yr)	Share (%)	1992 (1000/yr)	Share (%)
Tabriz Power Station	Azərbayjan(East)	181,932	889,857	57,706		56,063	24.84	12,741	24.36
Tabriz Refinery	Azərbayjan(East)		198,000	5,280		14,520	6.43	863	1.65
Soufian Cement Plant	Azərbayjan(East)		114,810			0	0.00	617	1.18
Iran Tractor Manufacturing Co.	Azərbayjan(East)		24,870			1,487	0.66	134	0.26
Sofina Gas Turbine Power Plant	Azərbayjan(East)	60,006	0	0		940	0.42	1,429	2.73
	Azərbayjan(East) Total		73,688			73,010	32.35	15,783	30.17
Ourmia Cement Plant	Azərbayjan(West)		1,200			0	0.00	396	0.76
Pakdis Drinks Factory	Azərbayjan(West)					72	0.03	6	0.01
	Azərbayjan(West) Total					72	0.03	402	0.77
	Esfahan				1,465,000	45,415	20.12	10,988	21.00
Sabet Fariman Sugar Factory	Khorasan		47,601			2,847	1.26	256	0.49
Touss Power Plant	Khorasan	159	16,951	730,529		1,022	0.45	2,973	5.68
Torbai-e-Jam Sugar Factory	Khorasan		14,000			837	0.37	75	0.14
Khorasan Sugar Factory	Khorasan		52,560			3,143	1.39	282	0.54
Khangiran Gas Processing Plant	Khorasan			17,700		0	0.00	3	0.01
	Khorasan Total		6,540			7,849	3.48	3,590	6.86
Haft Tappeh Cane Sugar Al Co.	Khuzestan		0	767,752		391	0.17	35	0.07
Ramin Thermal Power Plant	Khuzestan		0	297,977		6	0.00	2,957	5.65
Ahwaz Steel Company	Khuzestan			10,190		2	0.00	59	0.11
Kaavian Steel Co.	Khuzestan	575				10	0.00	7	0.01
Khuzestan Pipe Manufacturing Co.	Khuzestan					0	0.00	0	0.00
	Khuzestan Total	19,218	1,024,375	63,309		409	0.18	3,057	5.84
Montazer Ghacm Power Station	Tehran		668,156			61,559	27.28	10,126	19.36
Tehran Refinery	Tehran	27,210	0	1,174,039		33,380	14.79	2,374	4.54
Ray Power Plant	Tehran		82,566	132,998		436	0.19	5,169	9.88
Tehran Cement No.1 Factory (Total)	Tehran			59,388		0	0.00	470	0.90
Tehran Cement No.2 Factory	Tehran	400	5,360			0	0.00	12	0.02
Varamin Sugar Refinery	Tehran			17,966		327	0.14	32	0.06
Sobat Brick Company	Tehran			35,640		0	0.00	4	0.01
Bafkar Textile Co.	Tehran					0	0.00	7	0.01
	Tehran Total		54,000	3,240		95,702	42.40	18,193	34.78
Ghazvin Glass Co.	Zanjan			40,654		3,229	1.43	291	0.56
Abguneh Glass Manufacturing Co.	Zanjan					0	0.00	8	0.02
	Zanjan Total					3,230	1.43	299	0.57
	All Total					225,687	100.00	52,312	100.00

Table 6.10 Estimation of Emission Volume from Power Plants

Power Plant	Province	Production 1992 (MWH)	Fuel Consumption			SOx Emission		NOx Emission	
			Gas Oil (1000L)	HFO (1000L)	N.G. (1000m3)	1992 (1000t/yr)	Share (%)	1992 (1000t/yr)	Share (%)
Tabriz	Azərbayjan-East	3,615,670	906	889,857	0	53,228	17.57	8,208	7.94
Tabriz	Azərbayjan-East	181,026	23,405	0	57,706	367	0.12	780	0.75
Soufian	Azərbayjan-East	144,934	60,006	0	0	940	0.31	1,429	1.38
	Azərbayjan-East Total	3,941,630	84,317	889,857	57,706	54,534	18.00	10,417	10.08
Urmayeh	Azərbayjan-West	81,072	38,043	0	0	596	0.20	906	0.88
Besat	Boyehrahmad/Kohkiloyeh	1,302,883	4,015	80,498	309,104	4,879	1.61	2,027	1.96
Besat	Boyehrahmad/Kohkiloyeh	625,379	5,467	0	223,893	87	0.03	992	0.96
	Boyeh/Kohkil Total	1,928,262	9,482	80,498	532,997	4,967	1.64	3,019	2.92
Boushehr	Bushehr	223,916	104,784	0	0	1,641	0.54	2,495	2.41
Islam Abad	Esfahan	3,967,365	2,962	729,908	283,270	43,697	14.42	7,877	7.62
Islam Abad	Esfahan	42,726	14	0	16,896	0	0.00	65	0.06
	Esfahan Total	4,010,091	2,976	729,908	300,166	43,698	14.42	7,942	7.69
Zarqan	Fars	590,056	0	0	169,115	1	0.00	651	0.63
Zarqan	Fars	157,815	0	0	63,229	1	0.00	243	0.24
Shiraz	Fars	906,401	1,802	0	390,821	31	0.01	1,548	1.50
Hsa	Fars	46,620	14,757	0	112	231	0.08	352	0.34
Panahr	Fars	208,701	113,820	0	0	1,782	0.59	2,710	2.62
Abadeh	Fars	1,140	470	0	0	7	0.00	11	0.01
Lar	Fars	3,487	3,261	0	0	51	0.02	78	0.08
Lamard	Fars	9,737	12,667	0	0	198	0.07	302	0.29
	Fars Total	1,923,957	146,777	0	623,277	2,304	0.76	5,895	5.70
Loushan	Guilan	1,730,231	191	0	425,998	6	0.00	1,645	1.59
Loushan	Guilan	541,112	0	0	183,393	1	0.00	706	0.68
Rasht	Guilan	232,774	17	0	100,212	1	0.00	386	0.37
	Guilan Total	2,504,117	208	0	709,603	9	0.00	2,738	2.65
Firouzi	Hamadan	107,331	0	0	47,218	0	0.00	182	0.18
Shahid Firouzi	Hamadan	255,092	0	2,560	97,319	154	0.05	398	0.39
	Hamadan Total	362,423	0	2,560	144,537	154	0.05	580	0.56
Bandar Abas	Hormozgan	6,511,240	1,527	185,787	1,503,403	11,146	3.68	7,535	7.29
Bandar Abas	Hormozgan	20,811	0	0	14,863	0	0.00	57	0.06
Qesbm	Hormozgan	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00
Kish	Hormozgan	36,666	21,217	0	0	332	0.11	505	0.49
	Hormozgan Total	6,568,717	22,744	185,787	1,518,266	11,479	3.79	8,097	7.84
Zarand	Kerman	222,460	6,445	73,767	0	4,512	1.49	832	0.81
Mashhad	Khorasan	428,552	358	4,985	142,307	305	0.10	602	0.58
Tous	Khorasan	2,642,667	159	16,951	730,529	1,022	0.34	2,973	2.88
Sarbisheh	Khorasan	21,205	11,502	0	0	180	0.06	274	0.27
Mashhad	Khorasan	649,440	4,525	0	262,569	73	0.02	1,119	1.08
Shirwan	Khorasan	321,397	1,909	0	149,987	31	0.01	623	0.60
Qaen	Khorasan	200,245	84,642	0	0	1,325	0.44	2,015	1.95
Tous	Khorasan	2,642,667	159	16,951	730,529	1,022	0.34	2,973	2.88
Ashknan	Khorasan	1,091	1,091	0	0	17	0.01	26	0.03
	Khorasan Total	6,907,264	104,345	38,887	2,015,921	3,976	1.31	10,605	10.26
Ramin	Khuzestan	3,438,558	0	0	767,752	6	0.00	2,957	2.86
Dorud	Lorestan	47,116	26,075	0	0	408	0.13	621	0.60
Nekab	Mazandaran	8,665,740	0	672,202	1,707,788	40,212	13.27	12,761	12.35
Nekab	Mazandaran	1,383,777	779	0	484,247	16	0.01	1,883	1.82
	Mazandaran Total	10,049,517	779	672,202	2,192,035	40,228	13.28	14,644	14.17
Zahedan	Sistan/Baluchestan	235,348	97,272	0	0	1,523	0.50	2,316	2.24
Montazer Ghaem	Tehran	3,944,134	7,807	1,024,375	0	61,380	20.26	9,610	9.30
Montazery	Tehran	4,409,121	4,222	1,172,019	0	70,153	23.15	10,883	10.53
Rajai	Tehran	638,366	0	0	146,591	1	0.00	565	0.55
Montazer Ghaem	Tehran	24,885	10,205	0	0	160	0.05	243	0.24
Montazer Ghaem	Tehran	224,635	1,206	0	63,309	19	0.01	273	0.26
Rei	Tehran	3,127,199	27,210	0	1,174,039	436	0.14	5,169	5.00
Kilan	Tehran	539,486	0	0	155,359	1	0.00	598	0.58
Sbariaty	Tehran	410,480	2,234	0	186,999	36	0.01	773	0.75
	Tehran Total	13,318,306	52,884	2,196,394	1,726,297	132,187	43.63	28,114	27.20
Kermanshah	Yazd	58,285	27,731	0	0	434	0.14	660	0.64
Yazd	Yazd	49,535	21,170	0	0	332	0.11	504	0.49
	Yazd Total	107,820	48,901	0	0	766	0.25	1,164	1.13
	All Total	55,870,574	746,032	4,869,860	10,588,557	302,986	100.00	103,342	100.00

Table 6.11 Estimation of Emission Volume from Petroleum Refineries

Refinery	Province	Crude Processing Capacity		SOx Emission		NOx Emission	
		(BPSD)	Share (%)	1992 (1000t/yr)	Share (%)	1992 (1000t/yr)	Share (%)
Tehran	Tehran	220,000	21.85	33,800 *	20.76	2,374	21.85
Bakhtaran	Bakhtaran	27,000	2.68	4,371	2.69	291	2.68
Tabriz	Azərbayjan-East	80,000	7.94	14,520 *	8.92	863	7.94
Isfahan	Isfahan	240,000	23.83	38,853	23.87	2,590	23.83
Shiraz	Fars	40,000	3.97	6,476	3.98	432	3.97
Abadan	Khuzestan	380,000	37.74	61,518	37.79	4,101	37.74
Lavan	Hormozgan	20,000	1.99	3,238	1.99	216	1.99
Total		1,007,000	100.00	162,775	100.00	10,868	100.00

Note : Following assumption was made on estimation

SOx emission rate 3.6 kg/ton crude, \* Estimated based on actual fuel consumption

NOx emission rate 0.24 kg/ton crude

Operating efficiency 0.9(330 days/y)

Crude specific gravity 0.857

#### 4) 油田／ガス田におけるフレア・ガス（陸上／沖合）

- 完全燃焼を想定して、燃焼させる実際のガスの構成物質に基づき、CO<sub>2</sub> やSO<sub>2</sub>などの汚染物質が推定される。
- 大気に噴出するガスは、実際の運転データに基づいて推定される。
- 原油の燃焼については、CO<sub>2</sub>やSO<sub>2</sub>の排出率は実際の運転データに基づき、通常の方法での完全燃焼によって決まる、という仮定に基づいて推定する。

#### 5) 石油／ガス輸送パイプラインの加圧ステーション

ガスタービンやガスエンジンなどの装置から出る排ガスは、常時燃焼の状態を想定し、実際の燃料消費とその特性に基づいて推定する。

#### 6) 石油化学工場

汚染物質の排出率は、上述の製油所およびガス処理工場について言及されているのと同様に、実際の運転における原料投入量と製造量のバランス、エネルギーバランスの管理などから推定する。



### 6.3.2.2 移動発生源

新聞には、移動発生源によって発生する大気汚染の現状を報告する記事も掲載されている。

「テヘランでは、あらゆる種類の自動車 200万台、さらにモーターサイクル80万台が走っている。テヘランの年間ガソリン消費量は1億 5,000万リットルで、ガソリンと軽油が主要な汚染物質である。大気汚染の65%は、テヘランを走るこれら約200万台の車が原因となっている。乗用車が132万トン、バスは1万4,400トンの汚染物質を排出している。大気中に排出される鉛の量は年間 1,800トンに上り、そのほとんどがガソリンエンジンから排出されている。市民はそれぞれが 0.5グラムの鉛を吸い込んでいることになるが、これは非常に危険である。公共の輸送手段がないため、国民は燃費の悪い個人の中古車を使用せざるを得なくなっている。残念なことに、25年前から製造が続いている大衆車“ペイカン”には性能の良い燃料供給装置が備わっておらず、新型の車に比べ7～9倍もの汚染物質を排出している。1992年の国連の報告書によると、テヘランはTHCとSPMの濃度では世界第1位に、また大気中のSO<sub>2</sub>の濃度でも第2位にランクされている(表6.6を参照)。大気中の炭化水素の濃度は1立方メートル当たり 249グラムに達している。65%に上る車による大気汚染以外に、工場による汚染が26%、家庭で使用する暖房器具による汚染が11%となっている」。(Hamshahri紙、1993年8月4日、「ますます呼吸が困難に」)

テヘラン市役所と共同でテヘラン交通管制センターが1993年2月に作成した報告書(テヘランにおける総合大気汚染防止計画)によると、1日に150万台の車がテヘランを往来しており、大気汚染全体の70%はそれらの車によるものである。不完全燃焼はスペア部品の不足とテヘラン市の標高の高さが原因で、テヘランの大気汚染に大いに関与している。また都市開発機関とテヘラン大学が行ったテヘランの騒音公害に関する調査(1990年)では、「テヘランにおける騒音は、毎日往来する200万台の車が原因で、そのうちの26万台はモーターサイクルであるとされている。

#### (1) 移動発生源による汚染物質の排出

SO<sub>2</sub>は硫黄を含む燃料の燃焼によって排出され、その排出の程度は硫黄の含有量によって決まる。実際の排出は、さまざまな形の硫黄と酸素の混合物、いわゆるSO<sub>x</sub>から成り、中でもSO<sub>2</sub>は通常、呼吸器系統に多大な影響を及ぼす代表的物質とされている。

NO<sub>2</sub>はあらゆる燃料の燃焼から発生するが、これは「サーマルNO<sub>x</sub>」といわれる。また、「フューエルNO<sub>x</sub>」は、有機窒素を含む燃料から排出される。NO<sub>x</sub>系の混合物の中でも、NO<sub>2</sub>は通常、呼吸器系統に比較的大きな影響を及ぼす代表的物質とされている。「サーマルNO<sub>x</sub>」の形成は温度に大きく左右される。燃焼温度が高くなればなるほど、エネルギー効率は高くなる。したがって、NO<sub>x</sub>の排出が少ない高性能の燃焼設備を導入する

ことが必要である。

COは、燃料が燃焼する際、酸素が十分に供給されない場合に排出される。COの排出は、整備の行き届いたエンジンが付いた高性能の燃焼制御装置においては制御することができる。これは車を使用する際の燃費の節約にもなり、車の所有者はこうした措置を取らなくてはならない。

THCは燃料の燃焼からだけでなく、石油製品の精製、配送、消費の過程からも排出される。中でも車の燃費による排出が主なものである。車からのTHCの排出量を減らすのは難しく、一定量の排出は避けられないと思われる。

SPMはあらゆる種類の燃料の不完全燃焼、あるいは燃料中の不燃物から排出される。さらに他にも砂埃、植物の花粉、その他自然現象や人為的現象など、多くの発生源がある。

煤煙は、SPMの排出と同じメカニズムで、あらゆる種類の燃料の燃焼によって排出される。ただし煤煙の粒子はSPMの粒子より大きい。煤煙の排出抑制策は、SPM対策とほぼ同じである。

鉛(Pb)は、四エチル鉛の入った特殊なガソリンを使用する車から排出される。この物質は幼児の脳障害を引き起こすことが報告されている。

## (2) 自動車保有台数の推定

輸送部門におけるエネルギーの消費は、船舶、航空機、鉄道、自動車の4分野で行われているが、これらのうち最初の3つは一般に都市部から離れた場所で運行されているため、人々の生活にはそれほど深刻な影響はないと思われる。輸送部門で最も懸念される環境問題は、輸送の定期往復ルートでのエネルギー消費によって起こる大気汚染である。したがって、この調査では自動車による影響を主に取り上げた。

### 1) イランの自動車保有台数

イランの自動車保有台数に関する総合的な統計はひとつもない。イランおよび日本で発表されているいくつかの統計によると、自動車総数は年々増え、1990年にはおよそ260万台に上っている。これは20年前の7倍もの数で、そのうち乗用車が74%、バスとトラックが26%を占めている。この数字は、一般に言われている自動車台数を過少に見積もっているという印象を受ける。

本調査では、自動車台数はイランの輸送部門における燃料消費に基づいて推定したが、その消費量はエネルギーバランス表(付録を参照)において推定されている。平均燃費と自動車の平均年間走行距離から、自動車台数は以下のような方程式で割り出すことができる。

$$N = F / AF$$

$$AF = UF * AT \text{ (kcal/年*車)}$$

ここでは、

N : 自動車台数 (車)

F : 国内の合計燃料消費量 (kcal/年)

AF : 車1台当たり平均年間燃費 (kcal/年)

UF : 車1台の平均走行距離当たり燃費 (kcal/km)

AT : 車1台当たり年間平均走行距離 (km/年)

「UF」はイランでは公式発表されていないため、以下に示すとおり、排ガス規制がまだ施行されていなかった1970年の日本のデータから推論している。イランではまったくと言っていいほど排ガス規制が施行されていないため、イランの自動車の現状は、1970年の日本の状況と非常によく似ていると思われる。

乗用車 : 954kcal/km (ガソリン使用)

バス : 2,943kcal/km (軽油使用)

大型トラック : 2,484kcal/km (軽油使用)

小型トラック : 1,121kcal/km (ガソリン使用)

次に、乗用車の数と小型トラックの数の比率が4対1、バスと大型トラックの比率が1対1であると仮定すると、燃料別に見た全体の平均「UF」は以下のように計算することができる。燃料別の分類を行うのは、エネルギーバランス表から自動車台数を導き出すための定式を用いるために必要だからである。

ガソリン車 : 987kcal/km (= (4 \* 945 + 1 \* 1,121) / 5)

軽油車 : 2,714kcal/km (= (2,943 + 2,484) / 2)

日本の車種別の「AT」は、日本の運輸省による1970年版『運輸関係エネルギー総覧』によるものである。これによると、自動車の年間を通した平均走行距離 (AT) はここ20年間ほとんど変わっておらず、およそ11,000km/年である。アメリカの同じ指標はおよそ16,000km/年、他の西側諸国の1988年の「AT」については、IEA, "Fuel Efficiency of Passenger Cars", 1991に示されており、以下のとおりである。

日本 : 11,000km/年

アメリカ : 16,000km/年

オーストラリア : 15,800km/年

カナダ : 17,200km/年 (1987年のデータ)

デンマーク : 15,800km/年

イタリア : 11,700km/年

オランダ : 16,100km/年

ポルトガル : 8,800km/年  
 スペイン : 14,200km/年  
 スウェーデン : 14,000km/年  
 スイス : 15,000km/年  
 イギリス : 16,000km/年

イランの「AT」の指標は、日本とアメリカの数字を平均した14,000km/年であると想定された。まず、イランと日本の国内自動車分布には類似点が見られた。イランの都市部と農村部では自動車の分布にかなりばらつきがある。大半の自動車は都市部を走っており、平均して走る時間は短い。地方では、その広さが広がるほど走る時間は当然長くなる。次に、イランとアメリカの場合は、ともに通勤のための公共の大量旅客輸送機関が不足しており、したがって日本よりも「AT」の値が大きくなる。

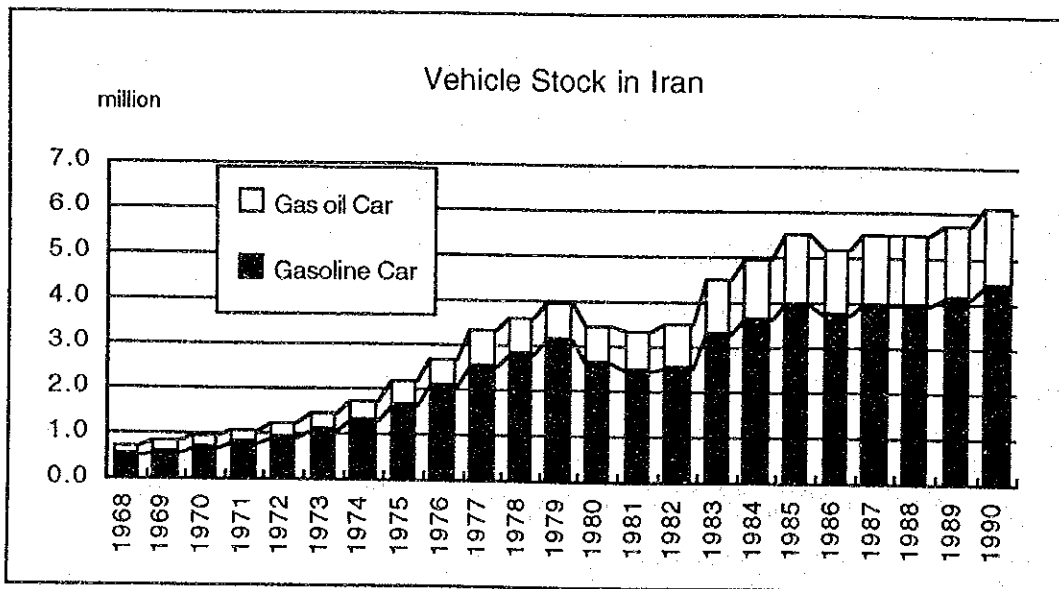
そこで、イランの燃料の種類別「AF」は、以下のとおり、前述の「UF」と「AT」の定式を用いて計算される。

ガソリン車 :  $13.82\text{Gcal/y} (= (987 \text{ (Kcal/km)} * 14,000 \text{ (km/y)})$

軽油車 :  $38.00\text{Gcal/y} (= (2,714 \text{ (Kcal/km)} * 14,000 \text{ (km/y)})$

イランの自動車保有台数は、エネルギーバランス表に示されている年間燃料消費のデータに上記「AF」の値を適用して推定する。この表に示されているのは「道路および鉄道」部門全体の数字であるが、鉄道の消費量は道路輸送と比べると極め僅かであると考えられる。その結果を図6.4に示す。

Figure 6.4 Vehicle Stock in I.R. Iran



イラン全体の自動車保有台数はおよそ 600万台であると見られ、過去22年間で8倍に増大している。1990年の自動車の種類別構成は以下のとおりだと推定される。

乗用車	: 350万台 (58%)
小型トラック	: 90万台 (14%)
大型トラック	: 80万台 (14%)
バス	: 80万台 (14%)

## 2) 州別の自動車保有台数

州別の自動車保有台数は、以下のような回帰式に基づき、自動車の分布は各地方の都市部の人口に比例している、という仮定から推定する。

$$\log Y = m * \log X + b$$

ここでは、

Y : 州別の自動車台数 (1,000車)

X : 都市部の人口 (1,000人)

mおよびb : 対数回帰係数

本章の後半で説明してあるとおり、テヘラン市については若干の修正が行われてはいるが、上記の推定方法によると、テヘラン首都州の自動車台数は全国の34%と極めて大きな割合を占めており(州全体でおよそ200万台、テヘラン市では180万台)、以下ホラサーン(州都マシャド)、イスファハン、アゼルバイジャン・エ・シャルキ(州都タブリーズ)と続いている(表6.12を参照)。

上に推定した自動車の他に、都市部では多くのモーターサイクルが一般に利用されている。たとえば、Hamshahri 紙(1993年8月4日)によると、テヘランではおよそ80万台のモーターサイクルが利用されている。

上記の定式は、5年の間隔をおいた延べ7年分の統計記録から導かれている(表6.13)。その統計を見ると、1人当たりの自動車保有の伸び率は徐々に変化していることが分かる。1人当たりの自動車保有率は、1960年には全人口では1,000人当たり20台だったが、1990年には460台に、また1960年にはD I D(人口稠密地区あるいは地域)については人口1,000人当たり46台だったが、1990年には728台へと着実に増加している。

一方、1990年のイランの自動車保有率は、全人口では1,000人当たり123台、D I Dの人口では1,000人当たり332台であると推定される。これは1970年の日本の状況と似ている。

Table 6.12 Vehicle Stock by Province

(as of 1990)

Province	Urban Population	Gasoline Car Stock	Gas Oil Car Stock	Vehicle Stock
Tehran	6,650,665	1,754,400	298,581	2,052,981
Khorasan	1,701,869	416,298	135,700	551,998
Esfahan	1,359,057	325,408	119,140	444,548
Azarbajejan-e-Sharqi	1,354,134	326,011	118,890	444,901
Fars	848,289	190,974	90,704	281,678
Khuzestan	836,033	189,592	89,943	279,535
Markazi	808,488	184,069	88,217	272,286
Mazandaran	623,300	135,860	75,890	211,751
Bakhtaran	560,514	120,796	71,368	192,164
Zanjan	463,852	96,558	63,965	160,523
Azarbajejan-e-Gharbi	416,089	85,561	60,067	145,628
Lorestan	392,471	81,102	58,070	139,172
Hamadan	376,139	78,616	56,660	135,275
Hormozgan	302,463	60,602	49,946	110,547
Gilan	290,897	59,406	48,831	108,238
Sistan-va-Baluchestan	281,923	58,913	47,954	106,867
Kerman	257,284	54,177	45,483	99,660
Yazd	230,483	48,856	42,678	91,534
Kordestan	204,537	43,767	39,829	83,596
Bushehr	201,642	44,919	39,502	84,421
Chaharmahal-va-Bakhtiyar	63,495	9,448	20,242	29,690
Semnan	61,021	10,714	19,782	30,496
Ilam & Boyerahmad-va-Kol	58,211	9,953	23,557	33,511
<b>TOTAL</b>	<b>18,342,856</b>	<b>4,386,000</b>	<b>1,705,000</b>	<b>6,091,000</b>

Sources:

\*1: A Statistical Reflection of the Islamic Republic of Iran, No. 9 (Census of 1986)

\*2: Motor Vehicle Statistics of Major Countries, Japan Motor Industry Assoc. and Iran Yearbook '93

(Note) Correlations between the vehicle stock and urban population appear very impressive, much more intensive than those of the vehicle stock and the total population according to the analysis by regressions for 47 Prefectures in Japan as shown in Figure 6.5.

Figure 6.5 Correlation between Vehicle Stock and DID Population in Japan

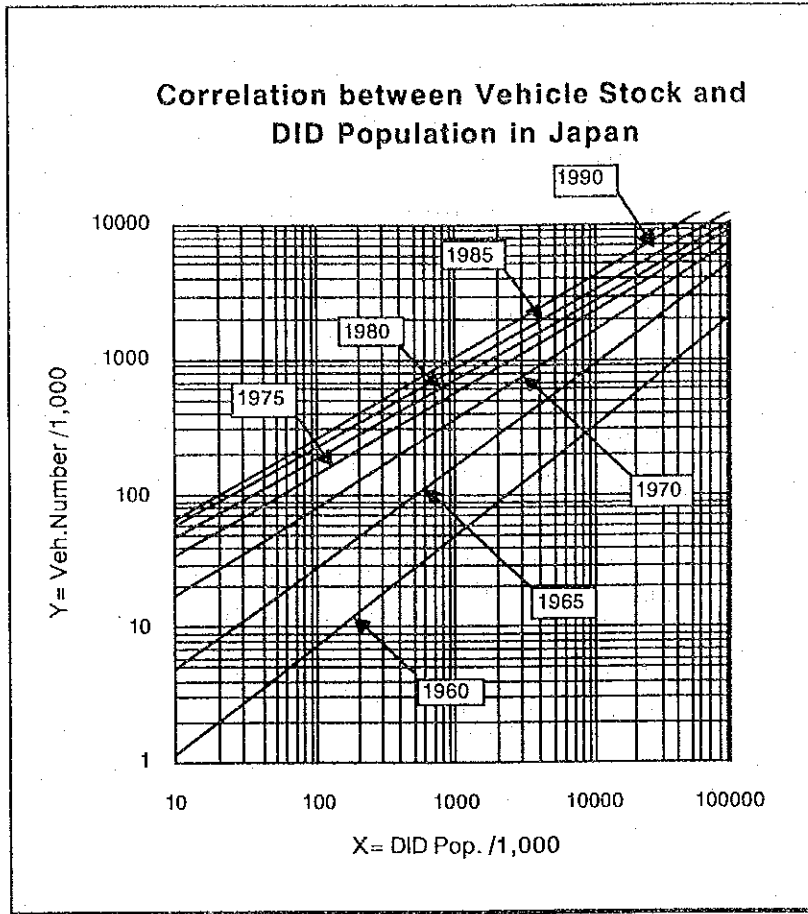


Table 6.13 Regression of Coefficients

Year	$\log Y = m * \log X + b$			Veh. Stock Rate/1,000	
	R	m	b	Total Pop.	DID Pop.
1960	0.951659	0.818576	-0.778097	20	46
1965	0.953576	0.761698	-0.078385	70	146
1970	0.951867	0.659048	0.576853	158	295
1975	0.948035	0.607138	0.930702	246	432
1980	0.942128	0.585632	1.100327	315	528
1985	0.943919	0.584706	1.183054	376	621
1990	0.949886	0.602652	1.204787	460	728

R= Correlation coefficient

### 3) テヘランの自動車保有台数

1970年の日本についての回帰式  $\log Y = 0.659 * \log X + 0.577$  をイランの自動車保有台数の州別の分布の推定に直接当てはめると、テヘラン市の保有台数の割合は全保有台数のおよそ20%に上る。この数字は120万台に相当するが、テヘランの総保有台数は約200万台という数字がしばしば引用されており、その数字と比べると少な過ぎるように思われる。

州別の自動車保有台数に関しては他にもデータがある。テヘランは全人口の18%、D I Dの人口の36%を占めるが、イランの全ガソリン消費量については40%を占めている。この割合が人口統計のパラメータを大幅に上回っているという事実は、通常の分布動向以上にテヘランにガソリン車が集中してしまうような、何か未確認の要因があることを意味している。このようにテヘランに顕著な特徴が見られるのは、テヘランがイランの全都市の中でも極めて大きな都市であるためであろう。たとえば、テヘラン市の人口は1988年には600万人であったが、マシャド市は、イラン第2の都市ではあるが、人口はわずか140万人で、テヘランの4分の1に過ぎない。都市部に人口が極度に集中すると、その都市は通常、行政や第3次産業、つまりサービス業にしばしば分類される知的活動の中心地としての主要機能を持つことになる。この業種は一般に多くの人材を必要とし、それが都市部での人の移動の必要性を増している。テヘランにこれほど多くのガソリン車が集まるのはこのためであろう。しかしながら今のところ、州別の自動車保有台数の正確な分布を確認するための確たる鍵は何もない。

したがって、州別の自動車保有台数は、自動車の分布のパターンが2つのカテゴリー（ガソリン車と軽油車）に分けられると仮定して推定される。またガソリン車の保有台数は、D I Dの人口の地方分布をテヘランの割合が40%になるように修正して推定することができる。軽油車の保有台数は、1970年の日本と同じ回帰式を用いて推定される。その定式は以下のとおりである。

$$\log Y = 0.57858 * \log X - 0.38764 \quad (\text{相関係数} : 0.947)$$



## 6.4 大気汚染物質および二酸化炭素の排出に関する分析

### 6.4.1 排出量のこれまでの傾向

#### (1) 推定方法

##### 1) エネルギー消費による排出

様々な汚染物質の排出量のこれまでの傾向は、第3巻の付録にあるエネルギー・バランス表に基づいて推定された。エネルギー・バランス表では、エネルギーの生産量が表の上の方に、また転換部門および最終需要におけるエネルギー消費量が下の方に記載され、生産量、転換および最終需要が年度ごとに比較できるようになっている。

イランの経済活動による大気汚染物質および二酸化炭素の総排出量を推定するため、様々な部門の最終エネルギー需要および転換部門に対するエネルギー供給に注目した。最終エネルギー需要を構成する部門は、工業部門、輸送部門、農業部門および住宅・商業部門に分類される。また転換部門には、製油所および発電所が含まれる。各部門のエネルギー所要量は、エネルギー・バランス表から燃料の種類ごとに拾い上げた。

排出量は、エネルギー消費量と各部門の燃料ごとに定められた排出係数（単位燃料消費に対する汚染物質排出量）の積として計算された。この計算方法により、二種類の汚染物質、 $SO_x$ および $NO_x$ 、さらに温室効果をもたらす気体、 $CO_2$ の排出量が推定された。計算に用いられた排出係数は、付録に記載されている。

図6.6は、イランのエネルギー消費量を部門毎に示したものである。グラフから、総エネルギー消費量が1971年から1990年の間に約4倍に増えたことがわかる。近年、転換部門と工業部門のエネルギー消費が急増する傾向を見せている。

図6.7は、燃料別のエネルギー消費量を示している。図からわかるように、石油製品は、総エネルギー消費量の中で常に最大のシェアを占めてきた。しかしこのところ、その伸び率は1985年以前に比較して小さくなっている。石油製品の伸び率とは対照的に、天然ガスのエネルギー消費量は1985年以降、加速度的に増加している（ただし、全体のエネルギー消費量に占める割合は依然として小さい）。

##### 2) 油田でフレアされる随伴ガスによる排出

上記の計算とは別に、油田でフレア（焼棄）される随伴ガスによる排出量を推定し、同国の経済活動による排出量と比較した。

フレアされる天然ガスの量は、OPECの年次統計報告の数字を利用した。 $SO_x$ の排出量の計算では、フレア・ガスの $H_2S$ 含有量を4%と想定している。 $NO_x$ および $CO_2$ の排出量は、付録に示した天然ガスの排出係数を使って計算した。

Fig. 6.6 Energy Consumption by Sector ; I.R. Iran

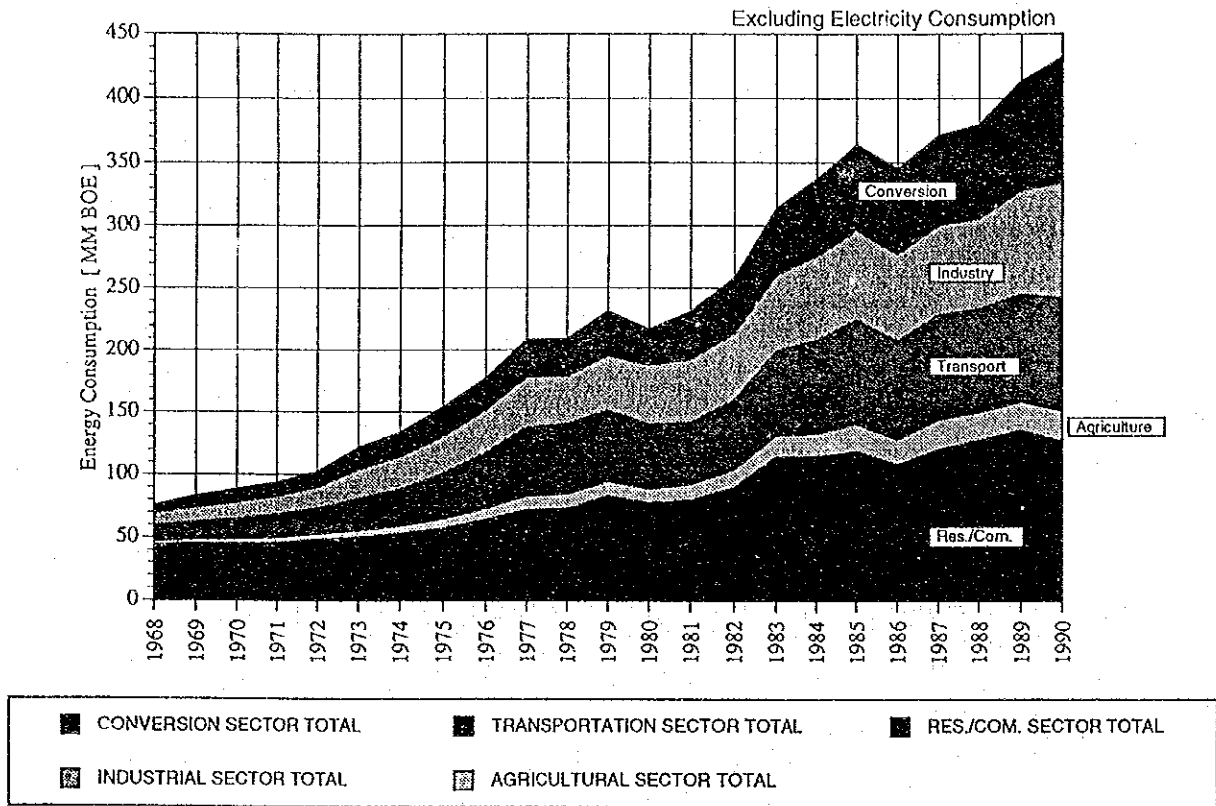
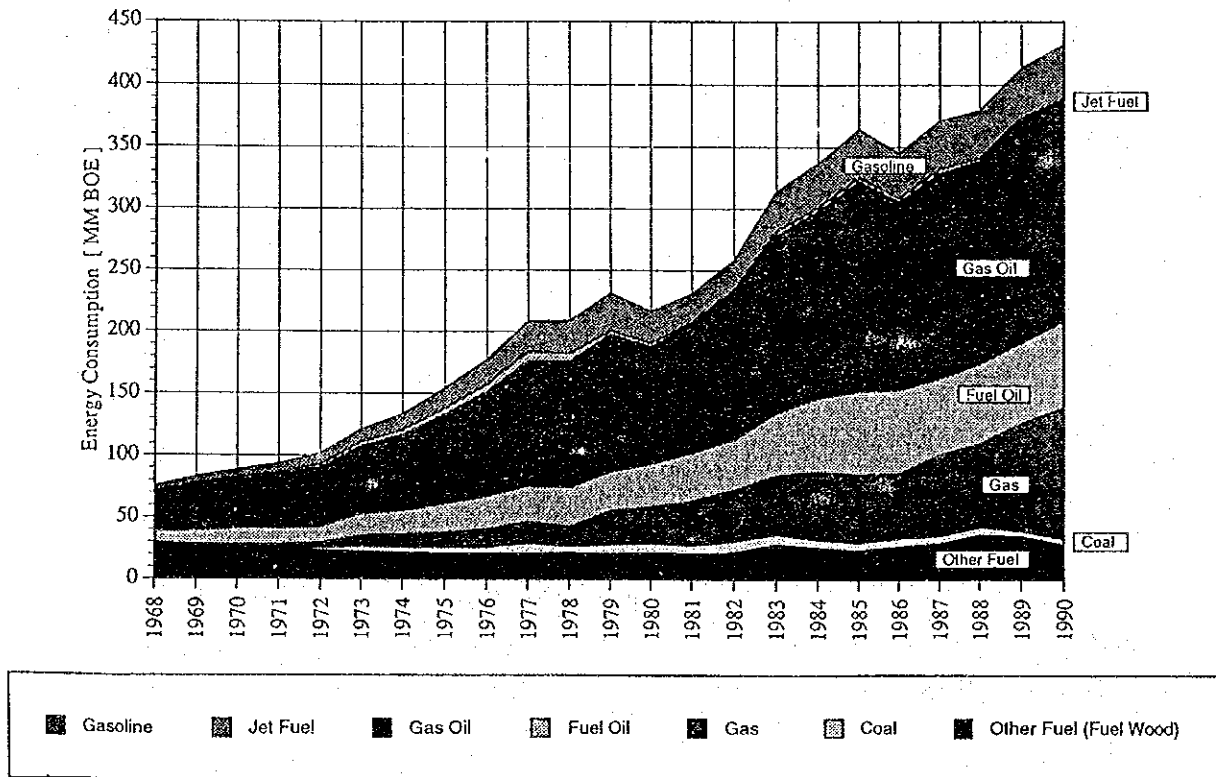


Fig. 6.7 Energy Consumption by Fuel Type ; I.R. Iran



### 3) セメント産業によるCO<sub>2</sub>の排出

これらの他に、セメント産業によるCO<sub>2</sub>の排出量も計算し、他に起因する排出量と比較した。セメント生産の原料としての石灰石消費率には、セメント1トン当たり石灰石1.14トンという日本の平均値を利用している。これにより、石灰石の加工によるCO<sub>2</sub>の排出係数は、石灰石1トン当たりCO<sub>2</sub> 0.2トンと設定された。

## (2) 部門別排出量

部門別に計算されたイランのSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>およびCO<sub>2</sub>の排出量のこれまでの傾向を、図6.8から図6.10に示す。計算値はすべて、参照事項として付録にも記載されている。

### 1) SO<sub>x</sub>

図6.8でわかるように、総排出量は1970年から1990年の間に約6倍に増えている。SO<sub>x</sub>の排出量は、工業部門と転換部門で極めて大きな伸びを示した。1990年には、これら二つの部門からの排出量が総排出量の60%を占めた。農業部門および住宅/商業部門では、これらの部門によるエネルギー消費の増加につれて、SO<sub>x</sub>排出量が増加しつつある。

### 2) NO<sub>x</sub>

図6.9でわかるように、総排出量は1970年から1990年の間に約5倍に増えた。NO<sub>x</sub>の排出が最も著しく増えたのは、輸送部門である。この部門だけで、全体の約60%を占める。転換部門は輸送部門に次いで、NO<sub>x</sub>の排出に大きく寄与している。転換部門による排出量は、わずかながら増加傾向にある。また工業部門の排出量は、このところ一定している。

### 3) CO<sub>2</sub>

図6.10でわかるように、総排出量は1970年から1990年の間に約4倍に増えた。すべての部門において、燃料消費量の増加に従って排出量が増えている。CO<sub>2</sub>の排出量は、SO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>の排出量と異なった傾向を見せ、住宅・商業部門による排出の比率が依然として比較的大きい。

Fig. 6.8 SO<sub>x</sub> Emission by Sector ; I.R. Iran

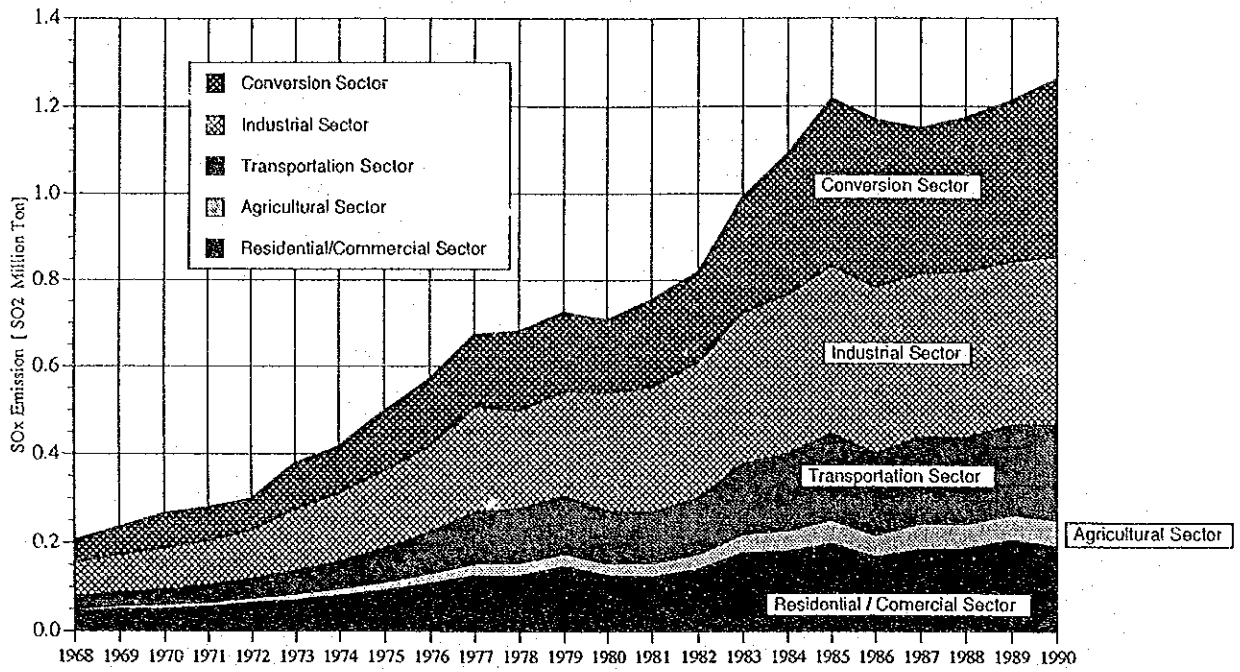


Fig. 6.9 NO<sub>x</sub> Emission by Sector ; I.R. Iran

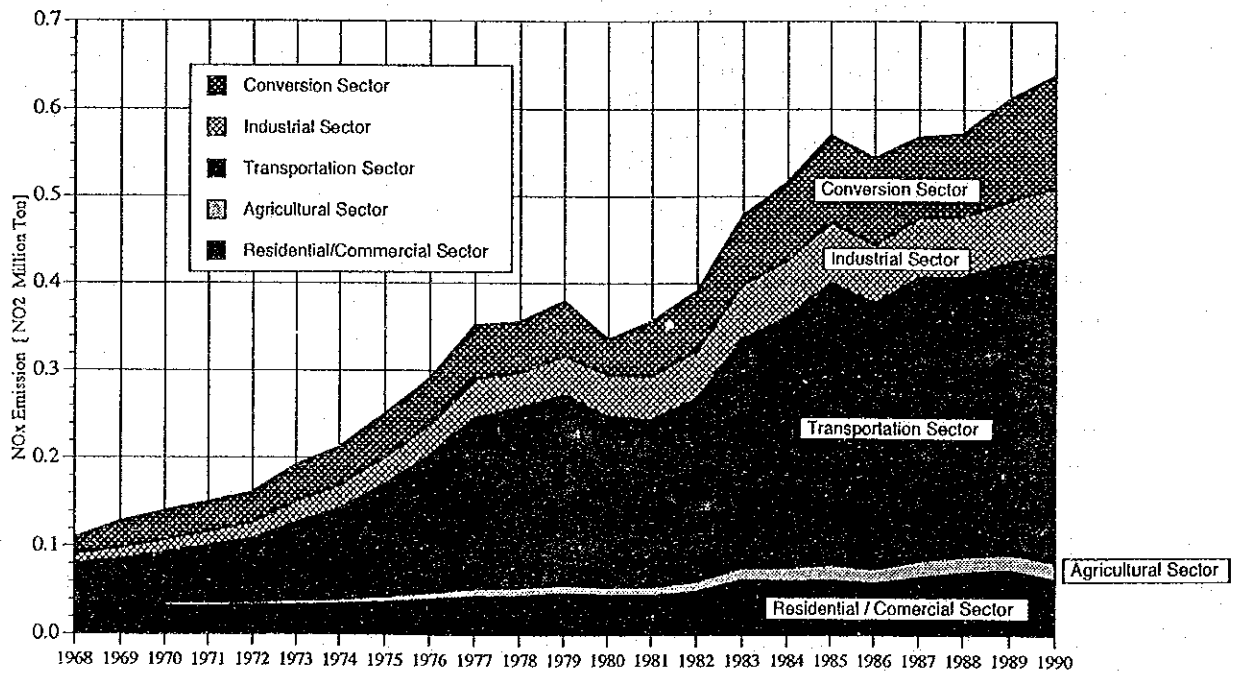
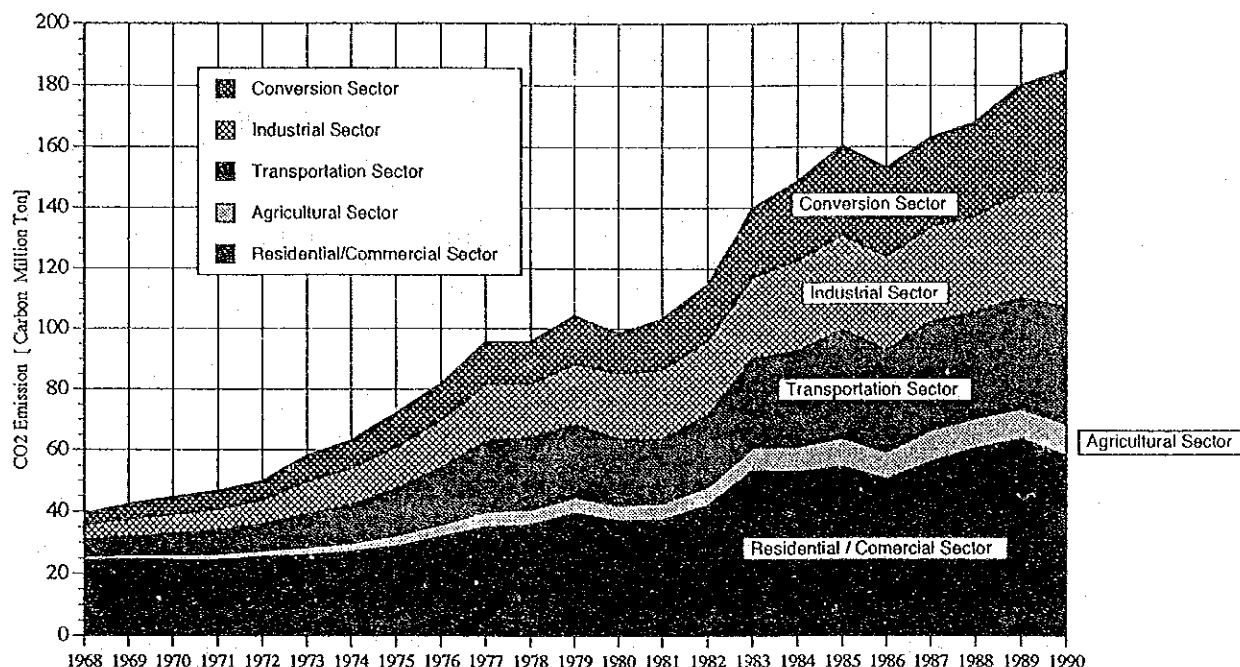


Fig. 6.10 CO<sub>2</sub> Emission by Sector ; I.R. Iran



### (3) 各燃料の排出量

付録には、燃料の種類ごとに計算されたSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>およびCO<sub>2</sub>排出量のこれまでの傾向も示されている。図6.11から図6.13は、排出量の計算結果をグラフで表したものである。

#### 1) SO<sub>x</sub>

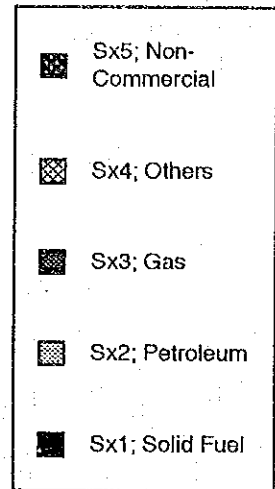
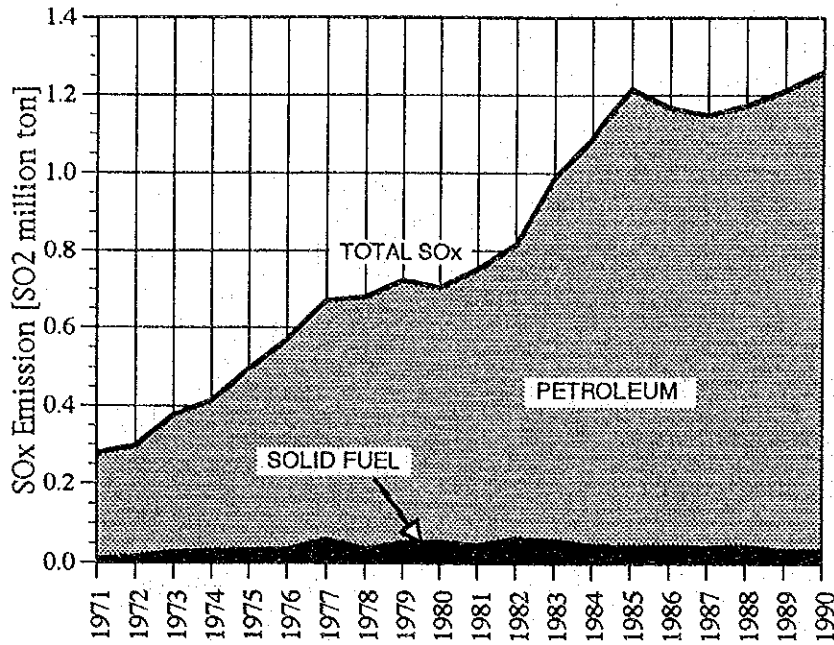
図6.11の上の方のグラフは、燃料別（固体燃料、石油、天然ガスおよび非商業燃料）のSO<sub>x</sub>排出量を示している。これからわかるように、SO<sub>x</sub>排出の大半は石油製品の消費に起因する。下の方のグラフ（目盛り拡大）は、石油製品と固体燃料以外の燃料によるSO<sub>x</sub>の排出量を示したものである。

#### 2) NO<sub>x</sub>

図6.12の上のグラフは燃料別のNO<sub>x</sub>排出量、また下のグラフは石油製品と固体燃料以外の燃料によるNO<sub>x</sub>排出量を示している。SO<sub>x</sub>と同様、排出量の大半は石油製品の燃焼に起因する。しかしSO<sub>x</sub>の場合とは異なり、天然ガスの比率が最近の消費の伸びに従って増加している。

Fig. 6.11

SOx Emission by Fuel Type; I. R. IRAN



SOx Emission by Fuel Type; I. R. IRAN

Excluding Petroleum and Solid Fuel

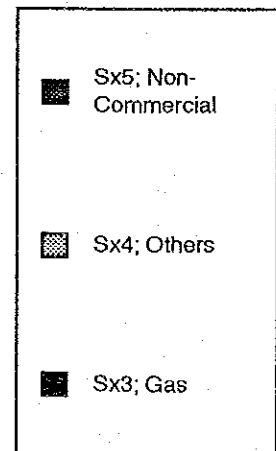
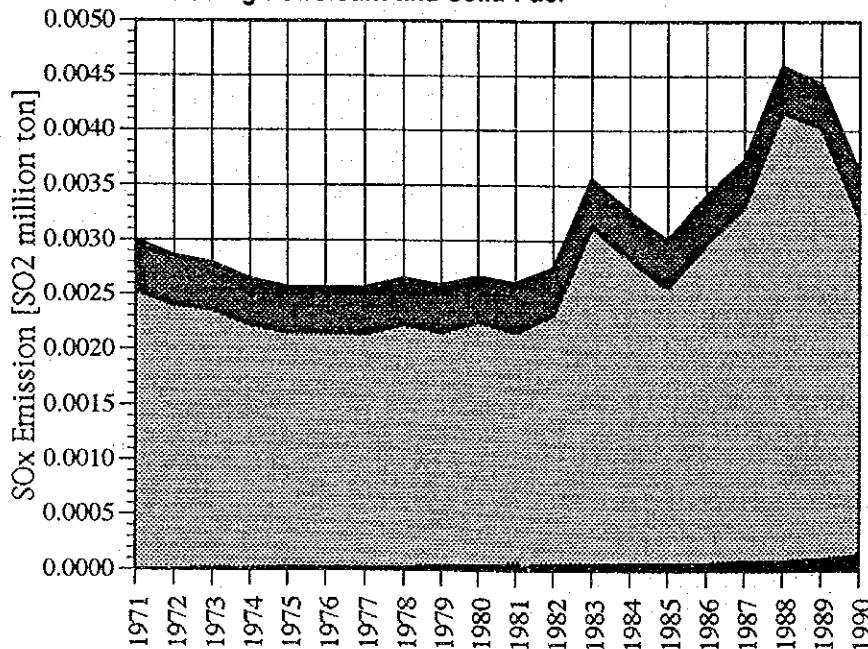
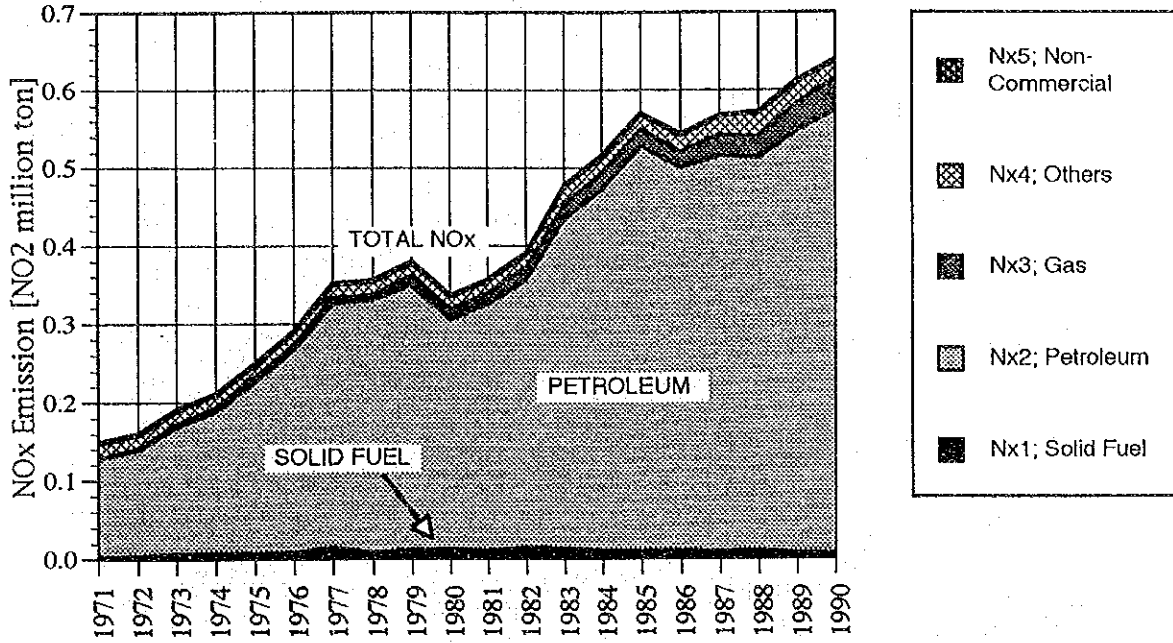


Fig. 6.12

NOx Emission by Fuel Type; I. R. IRAN



NOx Emission by Fuel Type; I. R. IRAN  
Excluding Petroleum and Solid Fuel

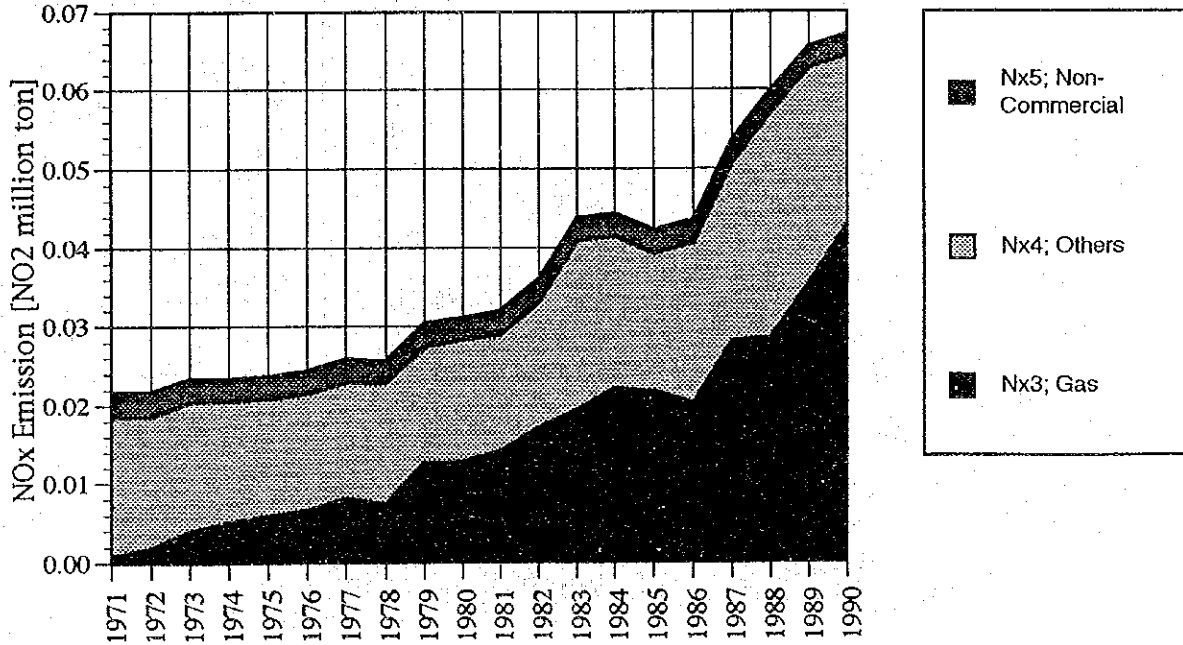


Fig. 6.13

CO<sub>2</sub> Emission by Fuel ; I.R. Iran

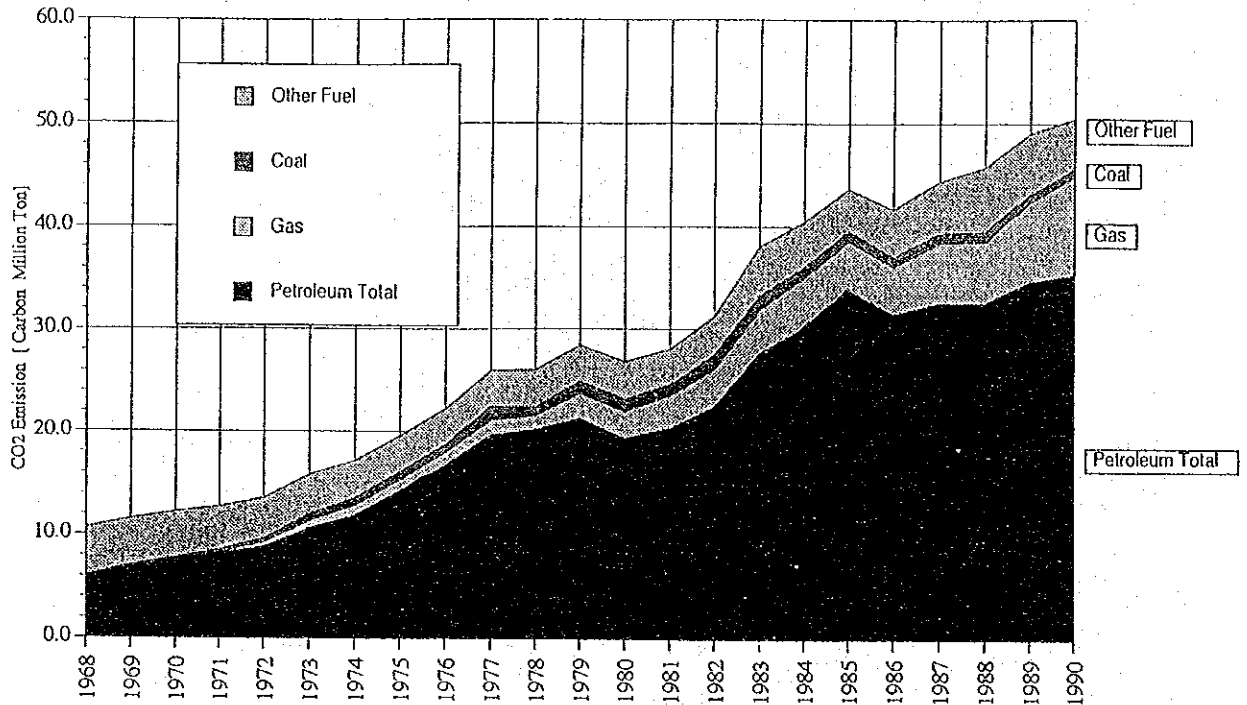
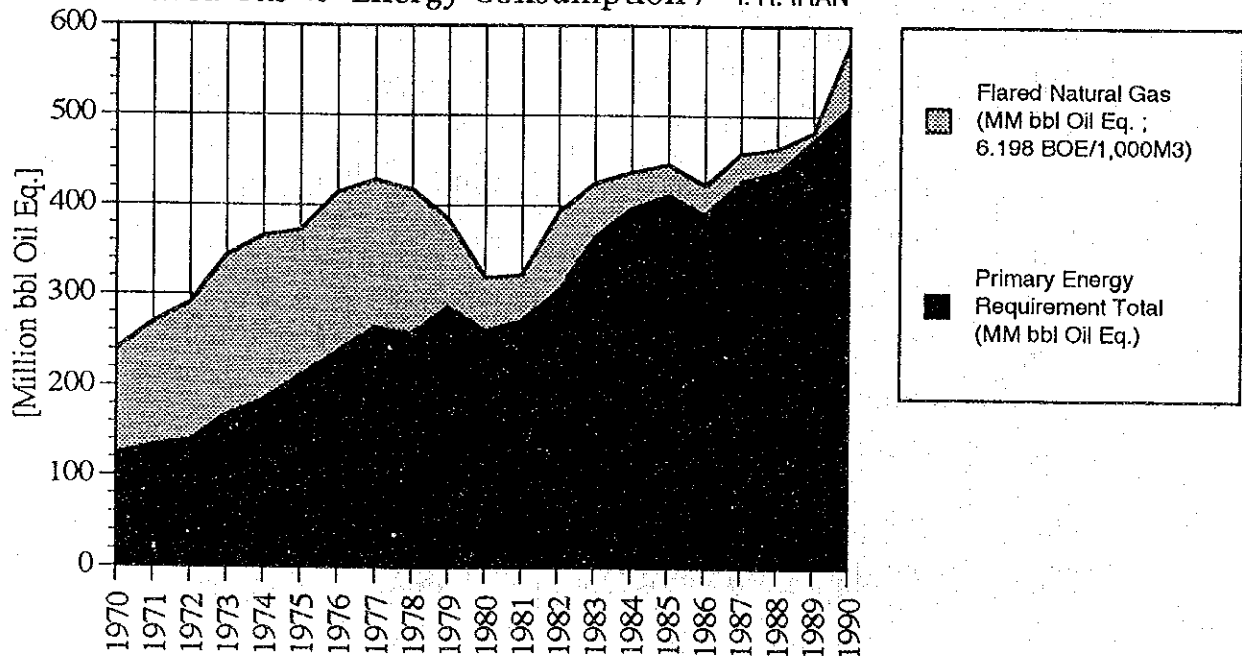


Fig. 6.14

Flared Gas vs Energy Consumption / I. R. IRAN



Flared Gas Volume;  
 After OPEC ... (Estimated before 1976 from Oil Production)



### 3) CO<sub>2</sub>

図6.13は、燃料別のCO<sub>2</sub>排出量のこれまでの傾向を示している。SO<sub>x</sub>およびNO<sub>x</sub>と同様、排出量の大半は、石油製品の燃焼に起因する。天然ガスの比率が、近年増加傾向を見せている。

### (4) 油田におけるフレア・ガスによる排出量

イランの油田のフレア随伴ガスは、見逃すことのできない汚染物質排出源の一つと推定される。図6.14は、一次エネルギー所要量とフレアされた随伴ガスのこれまでの傾向を示したものである。

フレアされた随伴ガスの量をエネルギー消費として評価すると、同国のあらゆる経済活動の総エネルギー所要量と比較することが可能である。随伴ガスの活用努力により、フレアされるガスの増加率は近年、同国の経済活動のエネルギー消費量の伸び率を下回っている。またこうした努力の結果、現在ではフレアされる随伴ガスの廃棄エネルギー量が、同国の総エネルギー消費量に比較して非常に少なくなっている。1990年の焼棄（フレアリング）による廃棄エネルギーは、同国の総エネルギー消費量の約10%だった。硫黄化合物で汚れた随伴ガスからH<sub>2</sub>Sを取り除き、それを利用するための施設（計画済み）が完成すれば、焼棄は行われなくなるだろう。

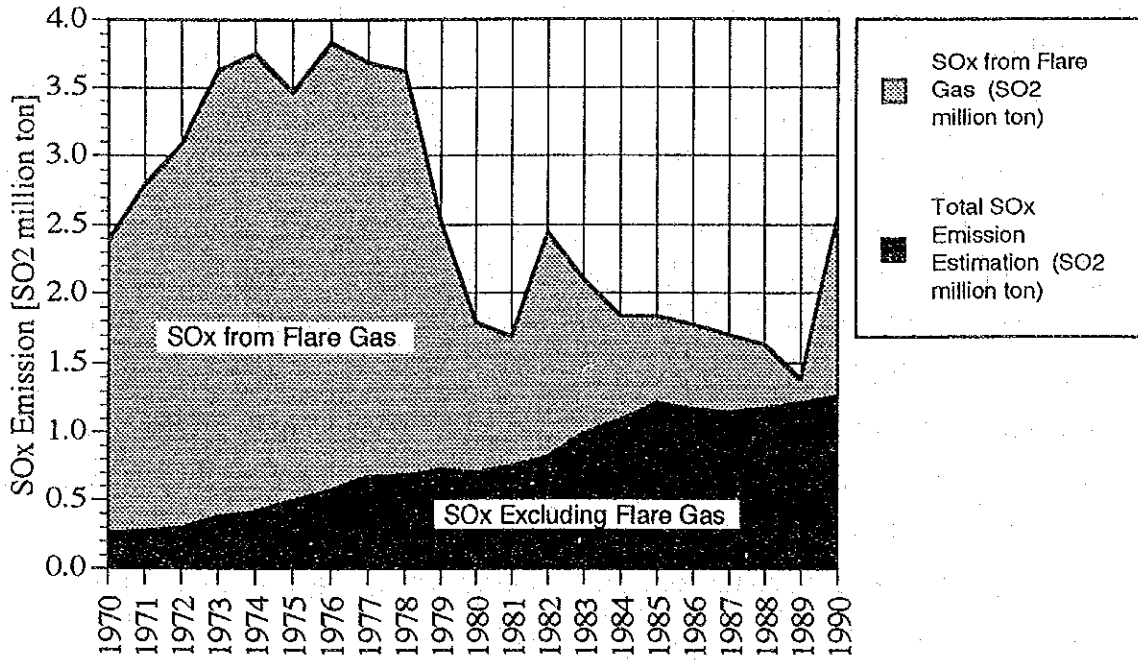
### 1) SO<sub>x</sub>

図6.15は、フレア・ガスによるSO<sub>x</sub>排出量のこれまでの傾向を示している。フレア・ガスによる排出で最も深刻なのはSO<sub>x</sub>である。生産された随伴ガスの大半は、消費されるか、または油田に再び注入される。しかしH<sub>2</sub>Sの含有量が高い随伴ガスは現在利用できないため、焼棄する必要がある。したがって、フレア・ガスによるSO<sub>x</sub>の排出は深刻なものと推測される。

フレアされる随伴ガスによるSO<sub>x</sub>の排出量を推定するに当たっては、ガス中のH<sub>2</sub>Sの平均含有量を、先述の通り4%と想定した。計算の結果、フレア随伴ガスによって排出されるSO<sub>x</sub>の量は、1990年の同国の総エネルギー消費によって生じるSO<sub>x</sub>の量とほぼ同じと推定される。

Fig. 6.15

SOx Emission from Flared Natural Gas and Other Sources / I. R. IRAN

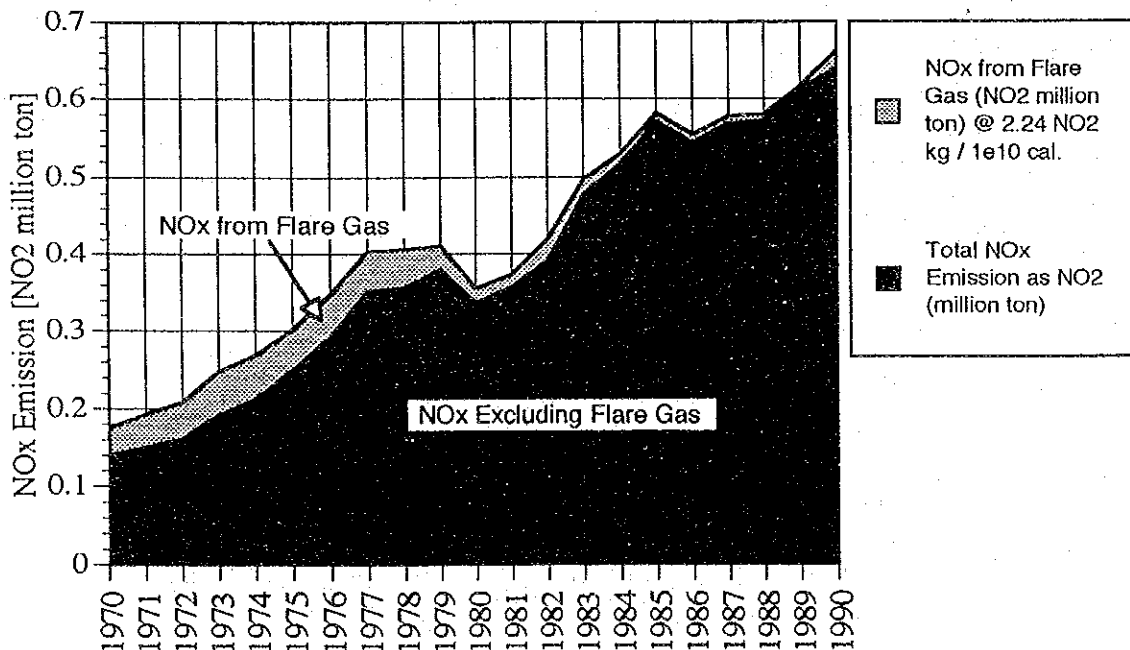


2) NO<sub>x</sub>

図6.16は、フレア・ガスによるNO<sub>x</sub>排出量のこれまでの傾向を示す。フレア・ガスによるNO<sub>x</sub>排出量の推定では、フレア随伴ガスの排出係数を天然ガスの排出係数と同じと想定した。計算の結果、フレア・ガスによるNO<sub>x</sub>の総排出量は、他に起因するNO<sub>x</sub>の排出量に比較して非常に少ないと推定される。

Fig. 6.16

NOx Emission from Flared Natural Gas and Other Sources / I. R. IRAN

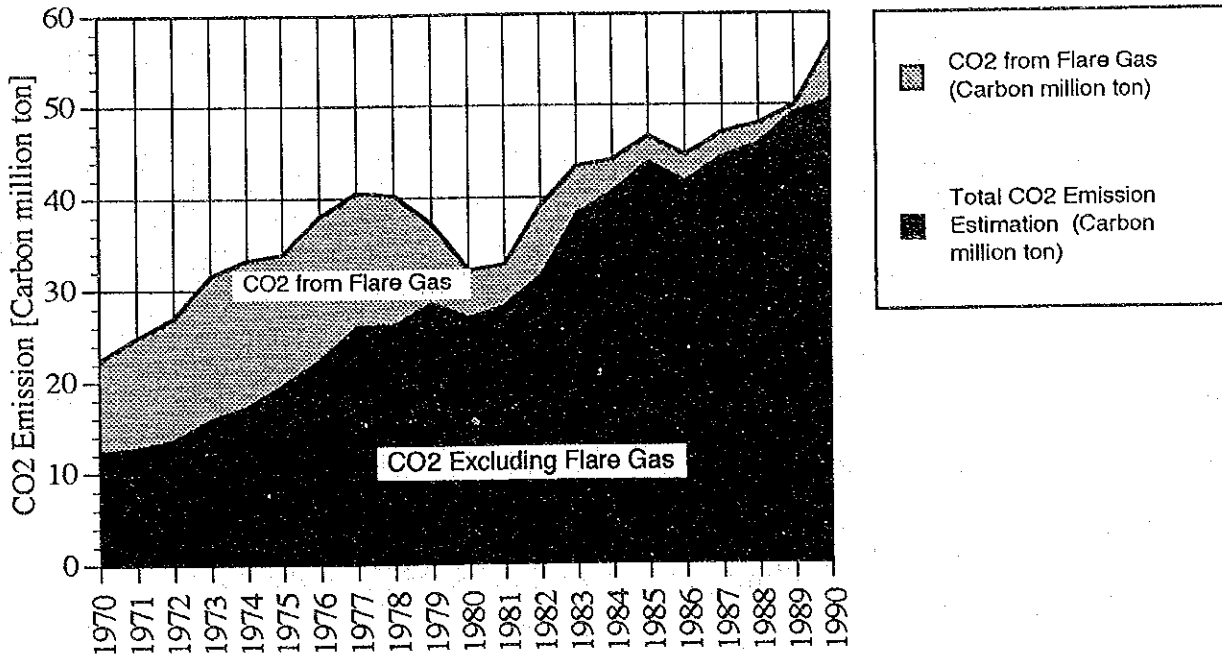


3) CO<sub>2</sub>

図6.17は、フレア随伴ガスによるCO<sub>2</sub>排出量のこれまでの傾向を示す。1990年のCO<sub>2</sub>の排出量は、他に起因するCO<sub>2</sub>の総排出量の約10%と推定される。

Fig. 6.17

CO<sub>2</sub> Emission from Flared Natural Gas and Other Sources / I. R. IRAN



(5) セメント産業によるCO<sub>2</sub>の排出

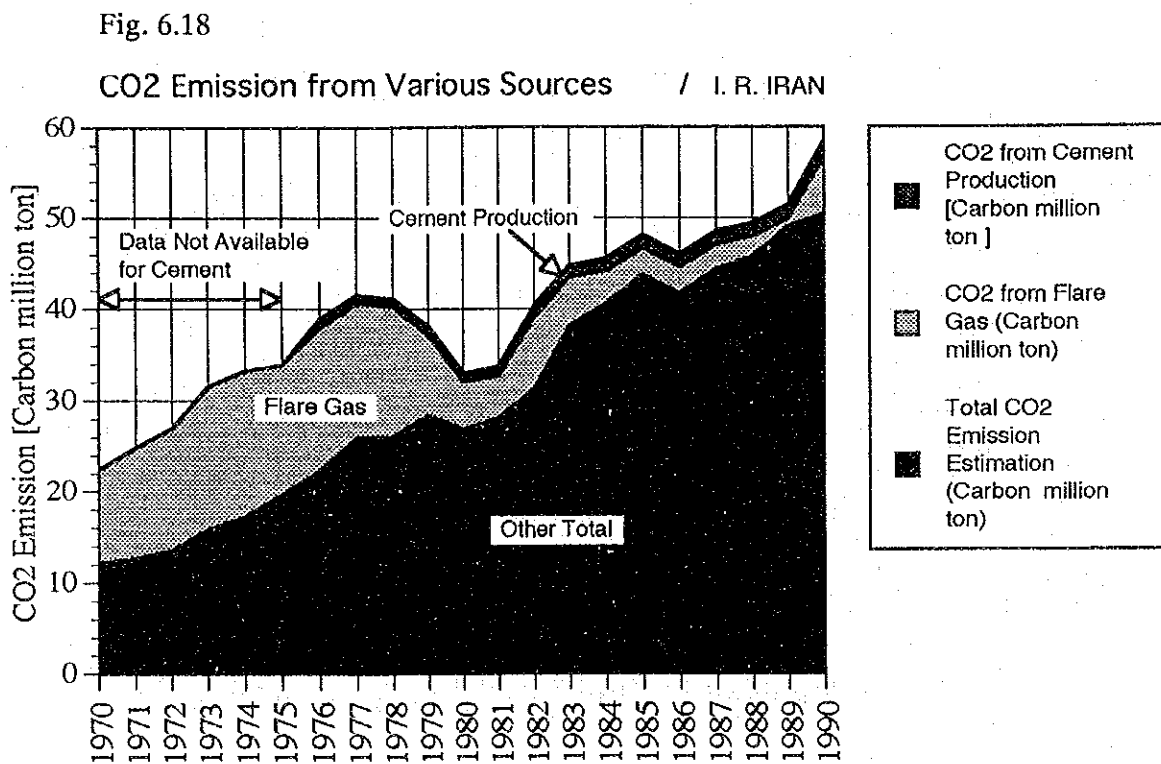
同国におけるCO<sub>2</sub>の排出を検討する際には、セメントの生産工程を主要発生源の一つと見なす必要がある。表6.14および図6.18は、同国のセメント生産によるCO<sub>2</sub>排出量を示したものである。

セメント生産によるCO<sub>2</sub>の排出量は、セメントの生産高および生産工程における石灰石の単位消費量から推定できる。本調査では、イラン・イスラム共和国のセメントの年間生産高と日本における石灰石の単位消費量のデータを利用して推定を行った。

Table 6.14 CO<sub>2</sub> from Cement Production

Year	Cement Production (Million ton)	CO <sub>2</sub> from Cement (0.12 Carbon ton / Cement ton)
1976	7.375	0.885
1977	7.706	0.925
1978	7.150	0.858
1979	7.620	0.914
1980	7.895	0.947
1981	9.231	1.108
1982	10.001	1.200
1983	10.912	1.309
1984	11.803	1.416
1985	12.095	1.451
1986	11.273	1.353
1987	12.618	1.514
1988	12.118	1.454
1989	12.830	1.540
1990	15.150	1.818

Source : Ministry of Industry ( I.R.Iran )



## 6.4.2 要因分析

SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> に関して、燃料特性、エネルギー・インテンシティ、経済成長、人口増加を要因とした要因分析を行い、これら各要因の過去の変化と、排出量に与える影響度を検討した。

### 6.4.2.1 大気汚染物質

大気汚染物質である SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> に関しては、燃料種別の排出原単位と、エネルギー・インテンシティ、経済成長を要因とした分析を実施した

SO<sub>x</sub> に関する式は以下の通り。

$$dSO_x(i)/SO_x(i) = dF/F + dS/S + dI/I + dG/G$$

(SO<sub>x</sub>(i)/F) \* dF : Fuel Control Factor

(Fuel Improvement and Sulfur Intensity)

(SO<sub>x</sub>(i)/S) \* dS : Fuel Conversion (Switching) Factor

(SO<sub>x</sub>(i)/E) \* dI : Energy Intensity Factor

(SO<sub>x</sub>(i)/G) \* dG : Economic Growth Factor

F = SO<sub>x</sub>(i)/E(i), E(i) : Energy Consumption of i-fuel

S = E(i)/E, E : Total Energy Consumption

I = E/GDP,

G = GDP

NO<sub>x</sub> に関する式は以下の通り。

$$dNO_x(i)/NO_x(i) = dF/F + dS/S + dI/I + dG/G$$

(NO<sub>x</sub>(i)/F) \* dF : Fuel Control Factor

(Burning Efficiency)

(NO<sub>x</sub>(i)/S) \* dS : Fuel Conversion (Switching) Factor

(NO<sub>x</sub>(i)/E) \* dI : Energy Intensity Factor

(NO<sub>x</sub>(i)/G) \* dG : Economic Growth Factor

F = NO<sub>x</sub>(i)/E(i), E(i) : Energy Consumption of i-fuel

S = E(i)/E, E : Total Energy Consumption

I = E/GDP,

G = GDP

上述の通り、燃料管理要因とは、各種燃料の単位消費エネルギー当りの排出量のことである。燃料転換要因とは、各種燃料の全エネルギー消費に占める割合を指す。さらに、エネルギー・インテンシティ要因および経済成長要因とは、それぞれ、GDP当りのエネルギー消費およびGDP伸び率を意味する。

## (1) SO<sub>x</sub>

### 1) 全体の傾向

1971年を基準年とする、イランの経済活動全体から生じるSO<sub>x</sub>排出の要因分析の結果を図6.19に示す。GDP当りのエネルギー・インテンシティの急速な伸びが主要因となってSO<sub>x</sub>排出量は1980年以降急激に増加している。1985年以降増加が鈍っているのは燃料転換の効果によるものと解釈される。燃料転換は石油製品からガスへの転換を意味している。1986年まではほとんど変化していないが、それ以降は減少方向へ推移している。

エネルギー・インテンシティ要因とは、GDP当たりのエネルギー消費である。石油製品使用量の増加に伴って単調増加している。1989年から1990年の一年間は一転して減少しているが、1990年以降の数字が無いので、傾向の変化と断定することは出来ない。1990年現在のSO<sub>x</sub>排出量に対する寄与度は、エネルギー・インテンシティ増加の要素が88%、燃料転換による減少方向の要素が-14%などである。

### 2) 石油製品からのSO<sub>x</sub>排出

石油製品はSO<sub>x</sub>の排出源の大半を占めているため、その傾向は全体の傾向とほとんど同一である(図6.20)。

### 3) 天然ガスからのSO<sub>x</sub>排出

現在積極的なガスへの燃料転換が進んでいることから、1986年以降ガスの消費量(ガスへの燃料転換)が急増している(図6.21)。但し、エネルギー消費量全体の増加が著しいため、全体に対する天然ガスの割合はさして増加していない。

1990年時点におけるSO<sub>x</sub>排出量(Gas)に対する寄与度は、燃料転換による(ガス消費量増加の)要素が46%、エネルギー・インテンシティ増加の要素が33%で、減少方向に作用する要素は無い。

### 4) 日本の例

日本の例では1970年を基準年にとった場合、SO<sub>x</sub>排出量は急速な減少をたどり、1980年以降緩やかな減少となっている(図6.22)。

Fig. 6.19 Factor Changes in SO<sub>x</sub> Emission ; TOTAL

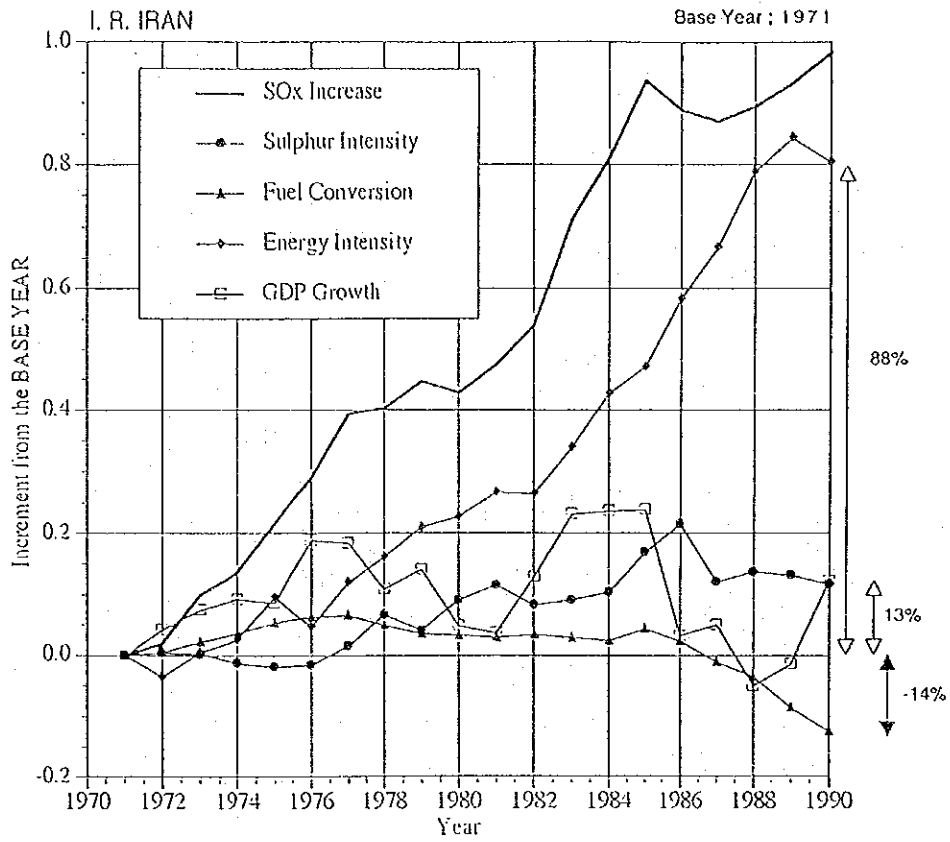


Fig. 6.20 Factor Changes in SO<sub>x</sub> Emission ; Petroleum

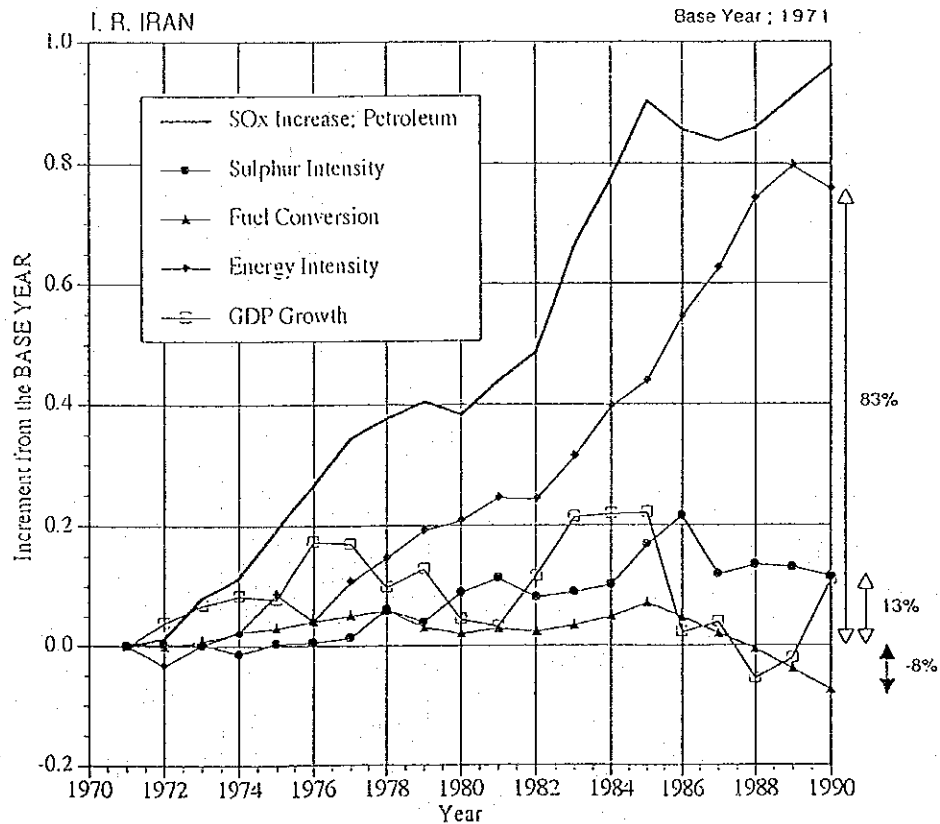


Fig. 6.21 Factor Changes in SO<sub>x</sub> Emission ; Gas

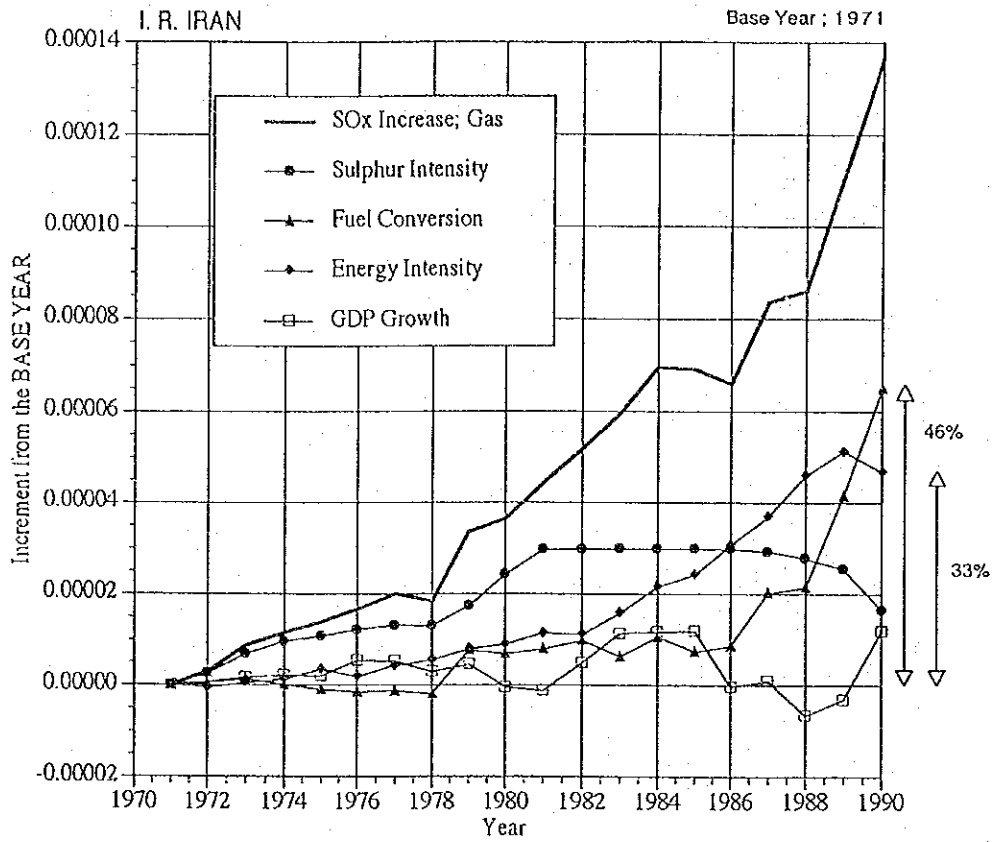
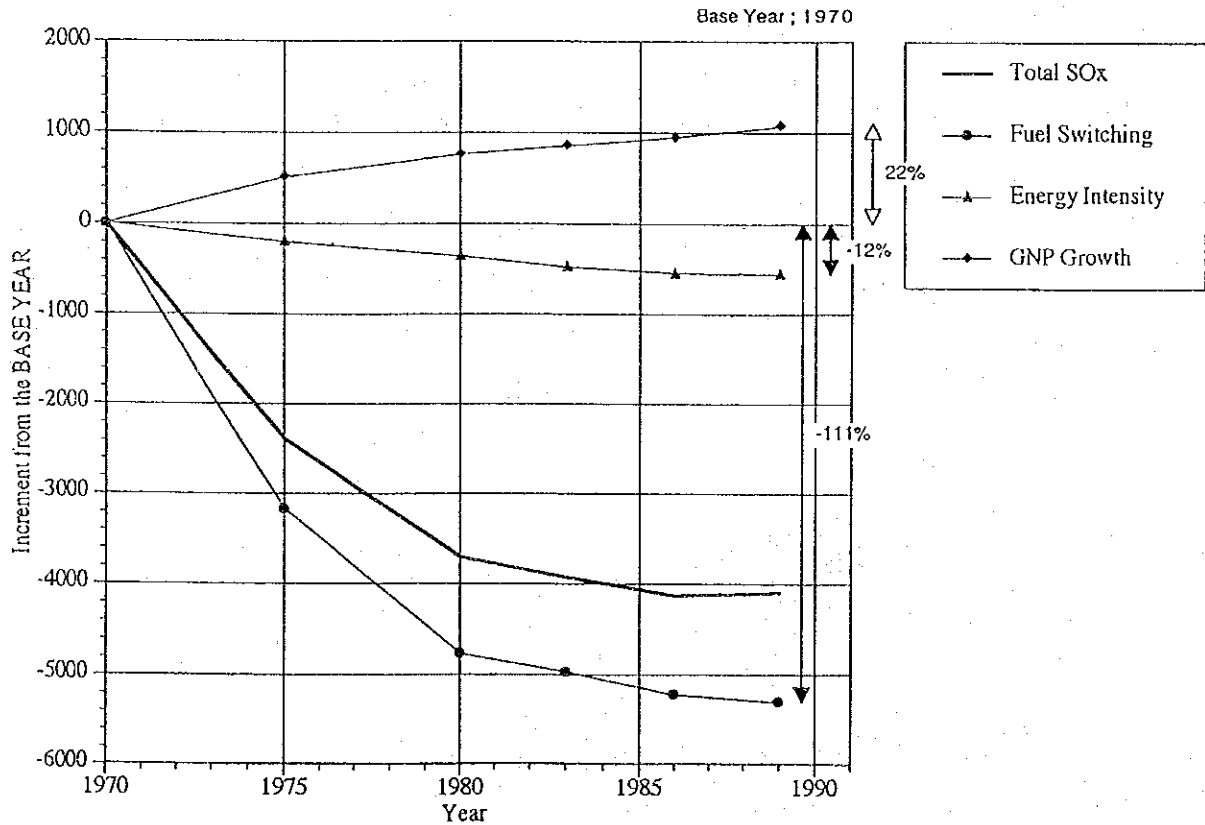


Fig. 6.22 Factor Changes in SO<sub>x</sub> Emission / JAPAN





最大の要因は燃料転換で、低硫黄燃料への切り替によるものである。エネルギー・インテンシティに関しては、日本ではすでに減少が飽和状態になっており、減少方向へ働く要素にはなっているものの、寄与率は大きくない。1990年時点におけるSO<sub>x</sub>排出量に対する寄与度は、燃料転換による要素が-111%、エネルギー・インテンシティの要素が-12%。経済成長による排出増加の要素が22%である。

燃料転換、エネルギー・インテンシティの2要素がイランの場合と正反対の傾向を示しており、排出量を減少させていることが目立つ。

## (2) NO<sub>x</sub>

### 1) 全体の傾向

全体の傾向はSO<sub>x</sub>の場合と類似している(図6.23)。最大の増加要因はエネルギー・インテンシティの増大で、89年から90年にかけての減少の兆し以外は単調な増加を続けている。

単位エネルギーあたり排出量或るいは燃焼効率についてはあまり変化がなく、改善がみられない。燃料転換の効果はNO<sub>x</sub>についてもみることが出来るが、SO<sub>x</sub>の場合ほど大きくはない。

1990年時点におけるNO<sub>x</sub>排出量全体に対する寄与度はエネルギー・インテンシティ増大による要素が84%、燃料転換による減少要素が-11%などである。

### 2) 石油製品からの排出

SO<sub>x</sub>の場合同様、石油製品がエネルギー消費の大半を占めるために、石油製品からのNO<sub>x</sub>排出の傾向は全体の傾向とほぼ同一である(図6.24)。

### 3) 天然ガスからのNO<sub>x</sub>排出

SO<sub>x</sub>の場合と同様に、ガスに関しては排出を減少させる要素は無い(図6.25)。燃焼効率(単位エネルギー当たりの排出量)は1987年以降改善されてきているが、1990年現在でも排出に対する寄与度は8%で、ネガティブ要因にはなっていない。燃料転換の要素は、ガスへの転換が急速に進んでいるため1986年以来寄与度が増加しており、1990年時点での寄与度は48%と最大である。これに次いで大きいのがエネルギー原単位増大による要素で、35%を占めている。

Fig. 6.23 Factor Changes in NO<sub>x</sub> Emission ; TOTAL

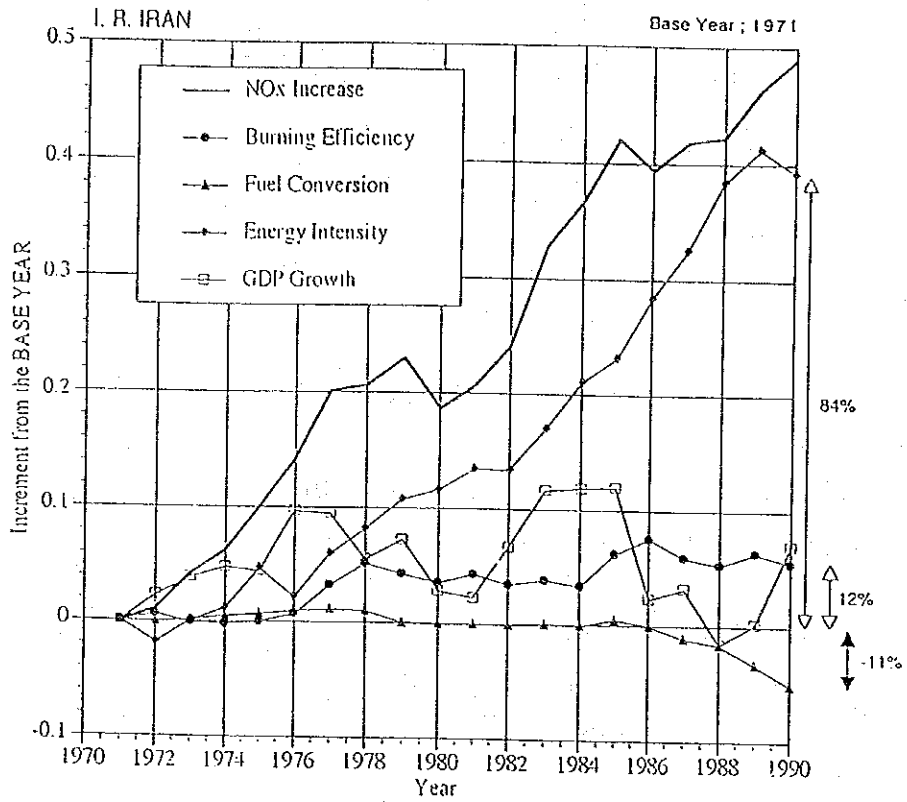


Fig. 6.24 Factor Changes in NO<sub>x</sub> Emission ; Petroleum

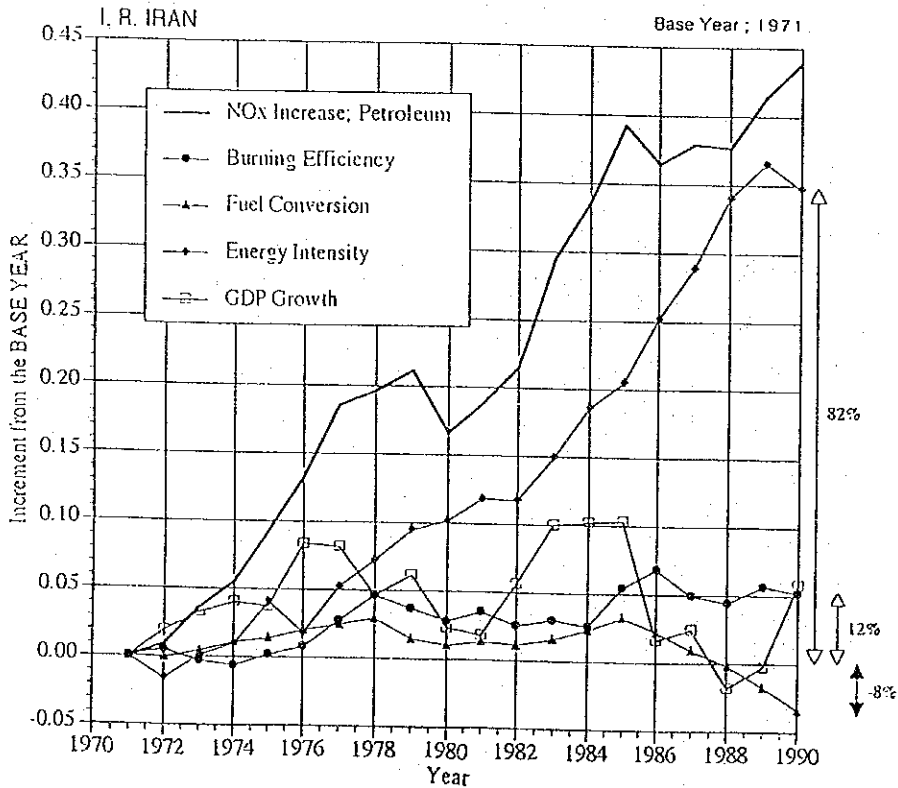


Fig. 6.25 Factor Changes in NO<sub>x</sub> Emission ; Gas

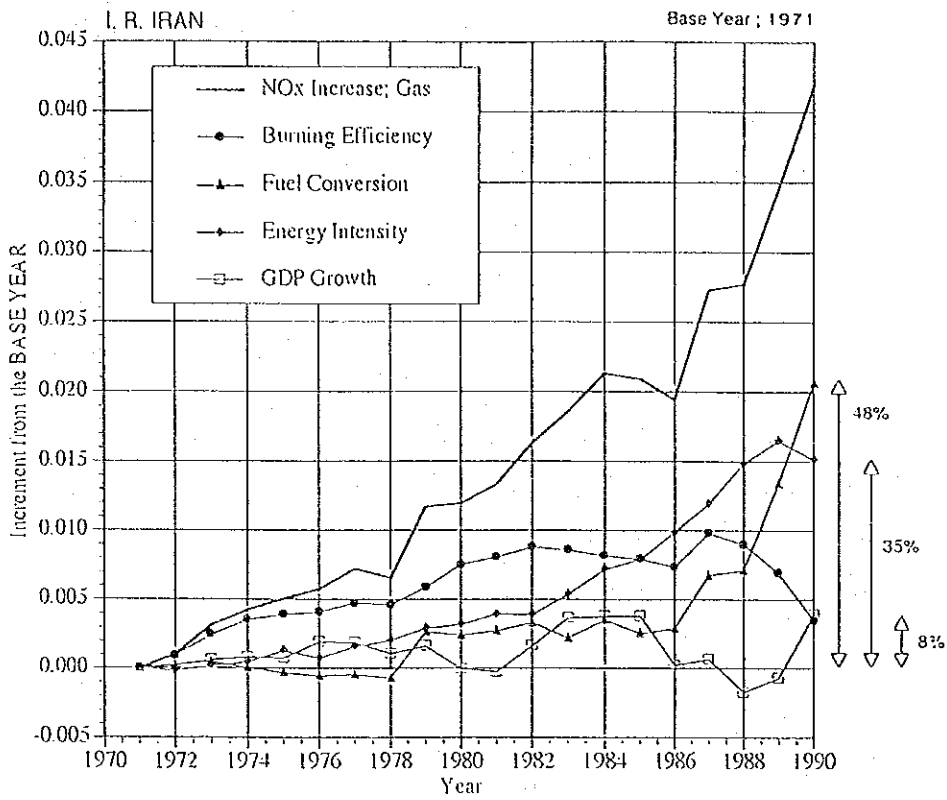
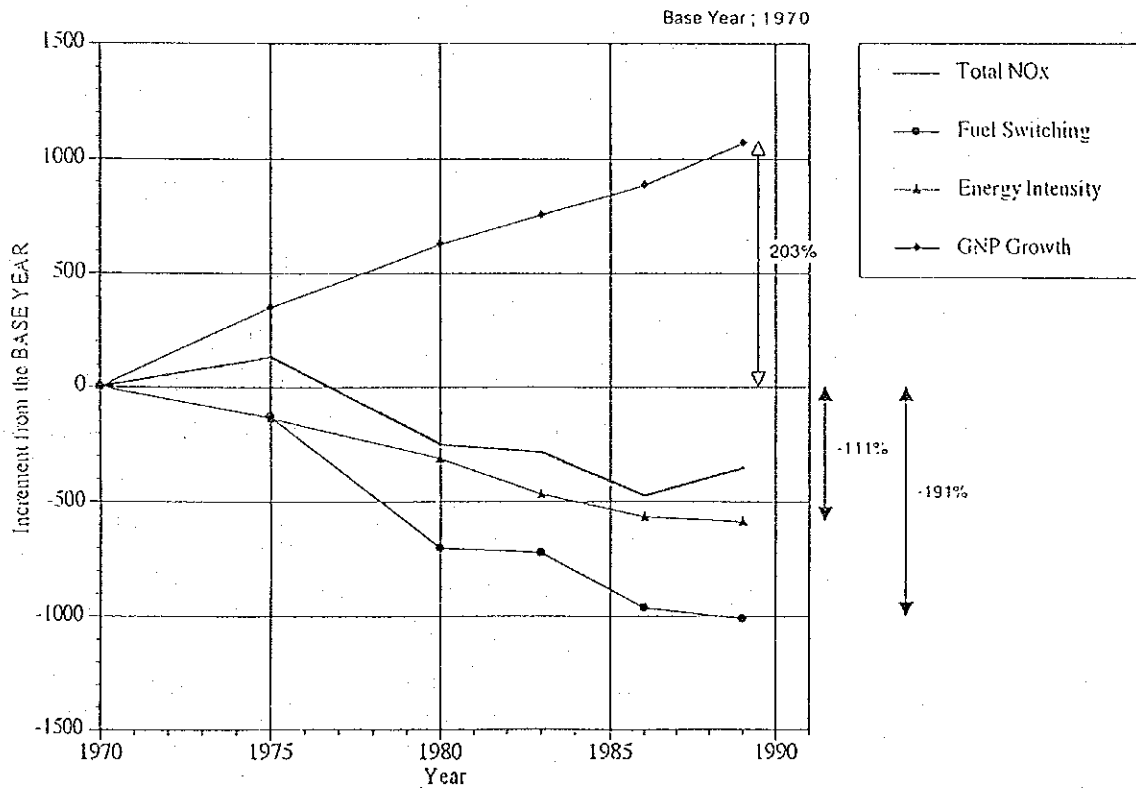


Fig. 6.26 Factor Changes in NO<sub>x</sub> Emission / JAPAN



#### 4) 日本の例

日本におけるNO<sub>x</sub>排出の要因分析では、1970年を基準年にとった場合、減少傾向をたどっているものの、SO<sub>x</sub>の場合ほどに減少の割合は大きくない(図6.26)。NO<sub>x</sub>の場合には燃料転換の効果がSO<sub>x</sub>の場合ほどに大きく現れないためと考えられる。

1989年時点における寄与度は燃料転換の要素が-191%、エネルギー・インテンシティ減少による要素が-111%で、排出の増大要因である経済成長要素(203%)をおさえて排出量を減少させている。

#### 6.4.2.2 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>については、全体のエネルギー消費量に対する排出原単位、エネルギー消費原単位、経済成長、人口増加を要因とする分析を実施した。

要因分析のモデル式は次の通り。

$$dC/C = dS/S + dI/I + dG/G + dP/P$$

(C/S) \* dS : Fuel Switching Factor

(C/I) \* dI : Energy Intensity Factor

(C/G) \* dG : Economic Growth Factor

(C/P) \* dP : Population Growth Factor

S = CO<sub>2</sub>/E, E : Total Energy Consumption

I = E/GDP,

G = GDP/Capita,

P = Population

イランにおけるCO<sub>2</sub>排出の要因分析では、燃料転換の効果はほとんど排出量減少に寄与していないが、1989~1990にかけて減少の傾向が現れており(図6.27)、この傾向が続くならば(石油製品から天然ガスへの)燃料転換の効果としてCO<sub>2</sub>排出量減少の要因になるものと思われる。1990年時点でCO<sub>2</sub>排出に対する寄与度が最大なのはエネルギー・インテンシティの増大の要素で、85%、ついで人口増加の要素が59%の寄与度を示している。

日本におけるCO<sub>2</sub>排出の要因分析(図6.28)では、1973年以降のエネルギー・インテンシティ減少と、燃料転換の効果によって、高い経済成長にもかかわらず排出量は横ばい状態をたどった。しかし、1986年以降これらの改善要素が飽和状態に達して、CO<sub>2</sub>排出は上昇傾向をたどっている。

Fig. 6.27 Factor Changes in CO<sub>2</sub> Emission / I.R. Iran

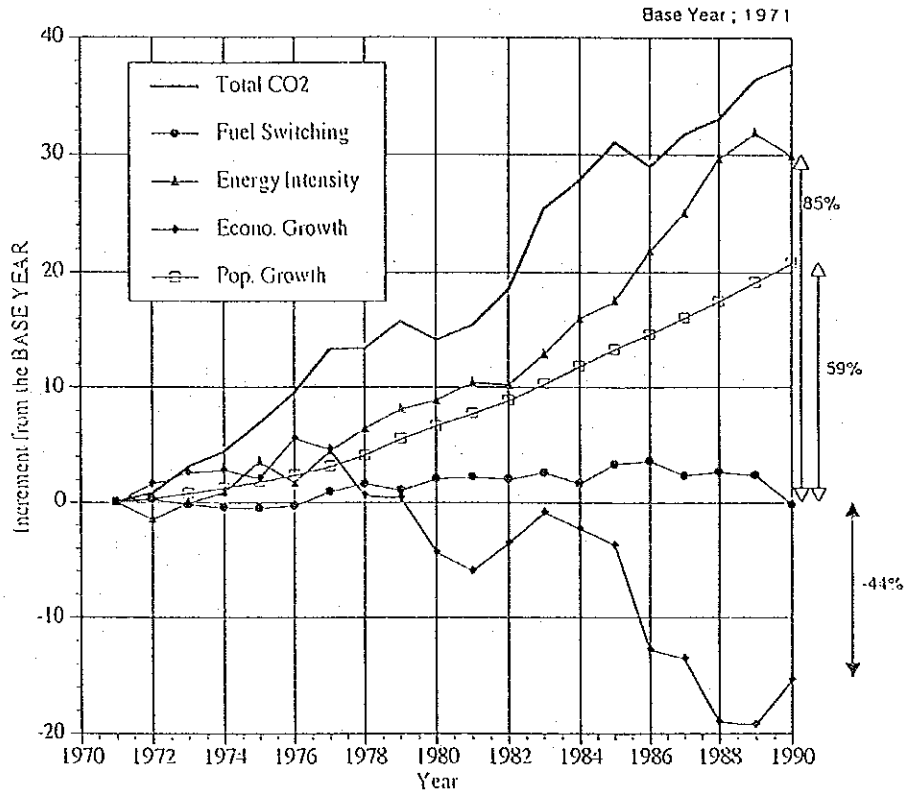
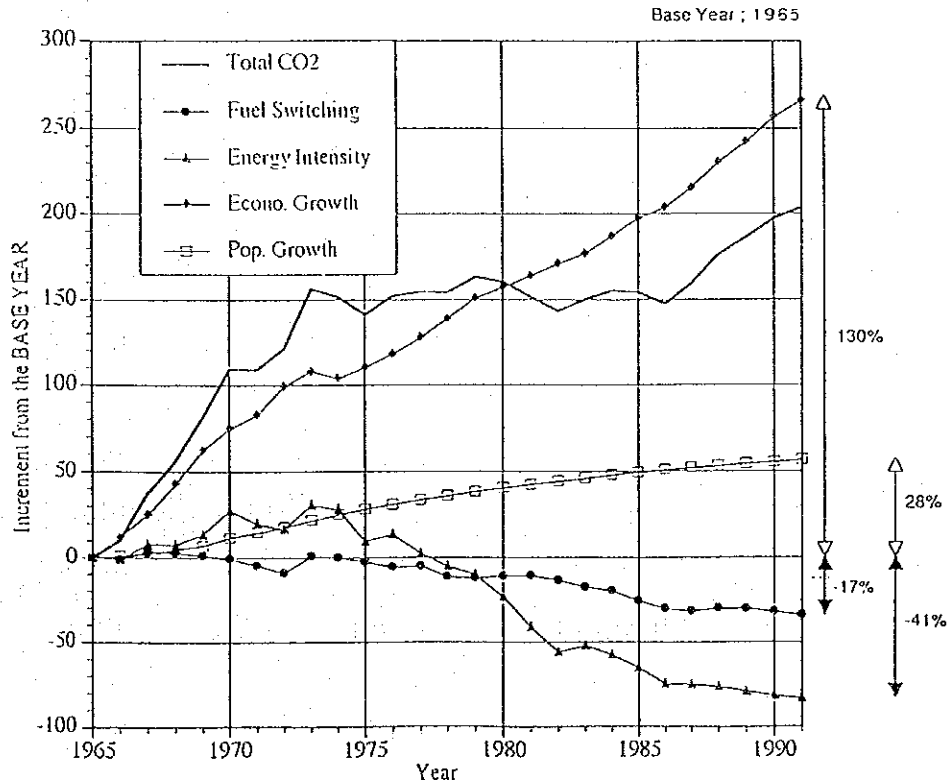


Fig. 6.28 Factor Changes in CO<sub>2</sub> Emission / JAPAN



日本の工業部門に関するCO<sub>2</sub>排出量の要因分析は、上述のイランのものとは異なったモデルで行われた。要因分析モデルは次の通り。

$$dC(i)/C(i) = dS(i)/S(i) + dI(i)/I(i) + dG(i)/G(i)$$

$(C(i)/S(i)) * dS(i)$ : Fuel Switching Factor

$(C(i)/I(i)) * dI(i)$ : Energy Intensity Factor

$(C(i)/G(i)) * dG(i)$ : Economic Growth Factor

$S(i) = CO_2/E(i)$  ( $E(i)$ : Energy Consumption in Industry)

$I(i) = E(i)/IIP$

$G(i) = IIP$

分析の結果は図6.29(a)に示されている。それによると、燃料転換要因およびエネルギー・インテンシティ要因が工業部門では依然として有効であることがわかり、この部門におけるCO<sub>2</sub>排出量は1973年以降、安定している。

このような分析結果は、1986年以降、工業部門はCO<sub>2</sub>排出量の増大には寄与していないことを示している。図6.29(b)は、最近においては、日本のCO<sub>2</sub>排出量増大に責任があるのは発電および輸送の両部門であることを示している。

#### 6.4.2.3 要因分析の要約

##### (1) SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> およびCO<sub>2</sub>排出に関する各要因の関与

SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, およびCO<sub>2</sub> 排出に関する各要因の関与の度合は表6.15(a)および(b)のように要約することができる。

Table 6.15 (a) Factors Contributing to SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> Emission

[%]

	SO <sub>x</sub>				NO <sub>x</sub>			
	I. R. Iran			Japan	I. R. Iran			Japan
	Total	Petroleum	Gas	Total	Total	Petroleum	Gas	Total
Fuel Control	13	13	12	-111 *	12	12	9	-191 *
Fuel Conversion	-14	-8	33	-	-11	-8	48	-
Energy Intensity	88	83	46	-12	84	82	35	-111
GDP Growth	13	12	9	22	15	14	8	203

NOTE: Fuel Control Factor mean Sulphur Intensity for SO<sub>x</sub> and Burning Efficiency for NO<sub>x</sub>

\*) In case of Japan, Fuel Control Factor includes Fuel Conversion Factor.

Table 6.15 (b) Factors Contributing CO<sub>2</sub> Emission [%]

	I. R. Iran	Japan	
		Total	Industrial Sector
Fuel Swithing	(0)	-17	-27
Energy Intensity	85	-41	-136
GDP Growth	-44	130	263
Pop. Growth	59	28	-

(2) 日本と世界における経験

前述の通り、1975～1987年の日本における各要因の関与の割合は次の通りであった。

(要 因)	(SO <sub>x</sub> )	(NO <sub>x</sub> )	(CO <sub>2</sub> )
燃料転換	-111	-191	-17
エネルギー・インテンシティ	-12	-111	-41

1) SO<sub>x</sub> 排出削減に対する努力

以下は、日本におけるSO<sub>x</sub>についての努力の推移である。

－第1段階；燃料改善

1960年代半ば、低硫黄燃料の利用がSO<sub>x</sub>排出量を引下げた。大気中のSO<sub>x</sub>濃度引下げの努力が効果をあげた。

－第2段階；脱硫対策

1970年代に入ると、脱硫装置の設置の数が急速に増大した。天然ガスの利用が拡大した。

－第3段階；エネルギー・インテンシティ低下

1975年以降、エネルギー効率の改善がエネルギー・インテンシティの顕著な低下をもたらした。

2) NO<sub>x</sub> 排出削減に対する努力

以下は、日本におけるNO<sub>x</sub>についての努力の推移である。

－第1段階；脱硫対策

1970年代、脱硫装置に続いて、固定発生源における排ガス脱硝装置が導入された。

－第2段階；自動車排ガス規制

1975年代以降、移動発生源からの汚染物質排出への対策が強化された。

Fig. 6.29(a) Factor Changes in CO<sub>2</sub> Emission / JAPAN, Industrial Sector

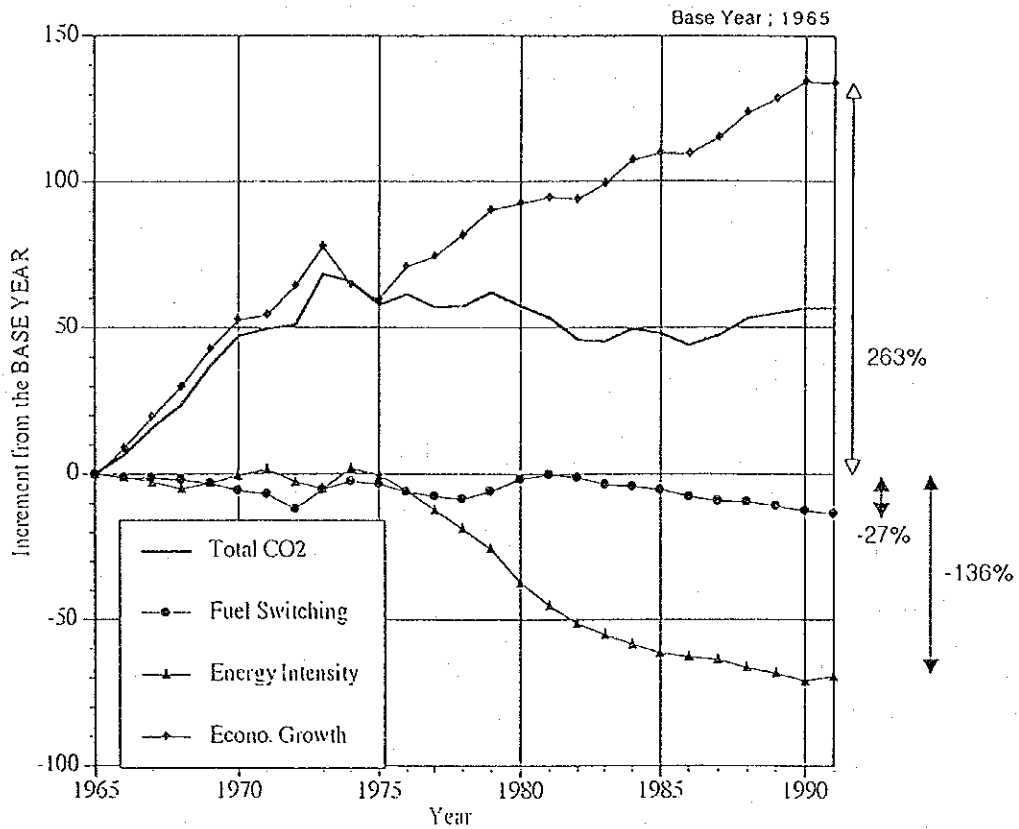
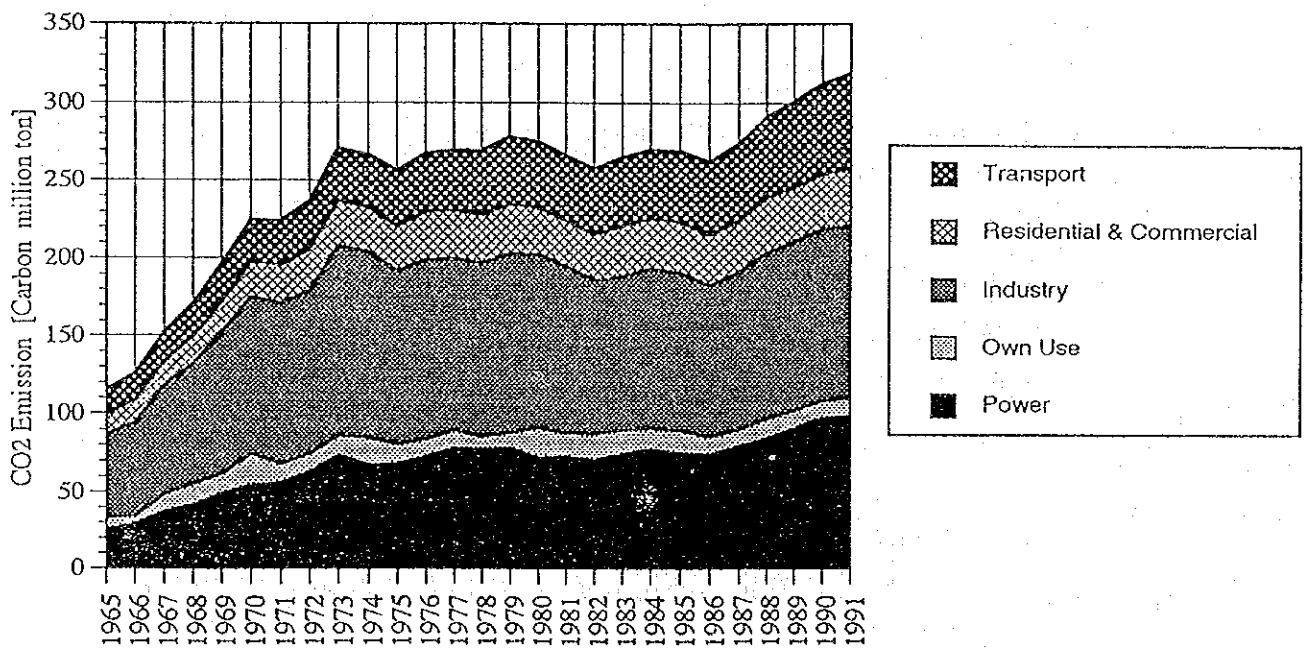


Fig. 6.29(b) CO<sub>2</sub> Emission by Sector / JAPAN





### —第3段階；燃料管理

1980年代に入ると、NO<sub>x</sub>削減への最も効果的な対策として、低NO<sub>x</sub>バーナー(LNB)、2段燃焼方式(TSC)、燃焼ガス再循環方式(FGR)、さらには、触媒利用(OSC)などが導入された。

### 3) CO<sub>2</sub>排出削減に対する努力

日本と世界におけるCO<sub>2</sub>削減に対する努力は下表のように要約される。

	(炭素インテンシティ削減)	(エネルギー・インテンシティ削減)
日本	1960年代～	1973～
工業国	1970～	1973～
発展途上国	1975～	1978～

### 6.4.3 国際比較

ここでは、アジア諸国および工業国における1次エネルギー消費、GDP、ならびにSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>およびCO<sub>2</sub>排出量の相関関係が検討される。この後、それらの相関関係との比較において、イランの現状が調査される。

上記の比較の結果は付録に収録した表に示されており、グラフが図6.30～図6.32に示されている。これらの図では、イランおよび日本について、1975年から1987年にいたる動きが矢印で示されている。

比較に用いられたデータは以下のような方法で準備された。

#### 1) イランのデータ

1次エネルギー消費とSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、およびCO<sub>2</sub>の排出量は、それぞれ、付録にあるエネルギー・バランス表と、6.4.1で述べられた排出係数にもとづいている。付録では、テヘラン州とテヘラン市における1次エネルギー消費とSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、およびCO<sub>2</sub>排出量は、同州と同市の1人当たり排出量および人口にもとづいて計算された。GDPは1980年価格に換算されている。各種の換算は付録の“Parameter Table for Emission Estimation”による。

#### 2) アジア諸国のデータ

植物系燃料を含む1次エネルギー消費、ならびにSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、およびCO<sub>2</sub>の排出量は『アジアのエネルギー利用と地球環境』（日本、科学技術庁）による。同報告書で用いられている排出係数は付録に収録されている。GDPは1980年価格に換算してあ

Fig. 6.30 SO<sub>x</sub> Emission - Primary Energy Requirement

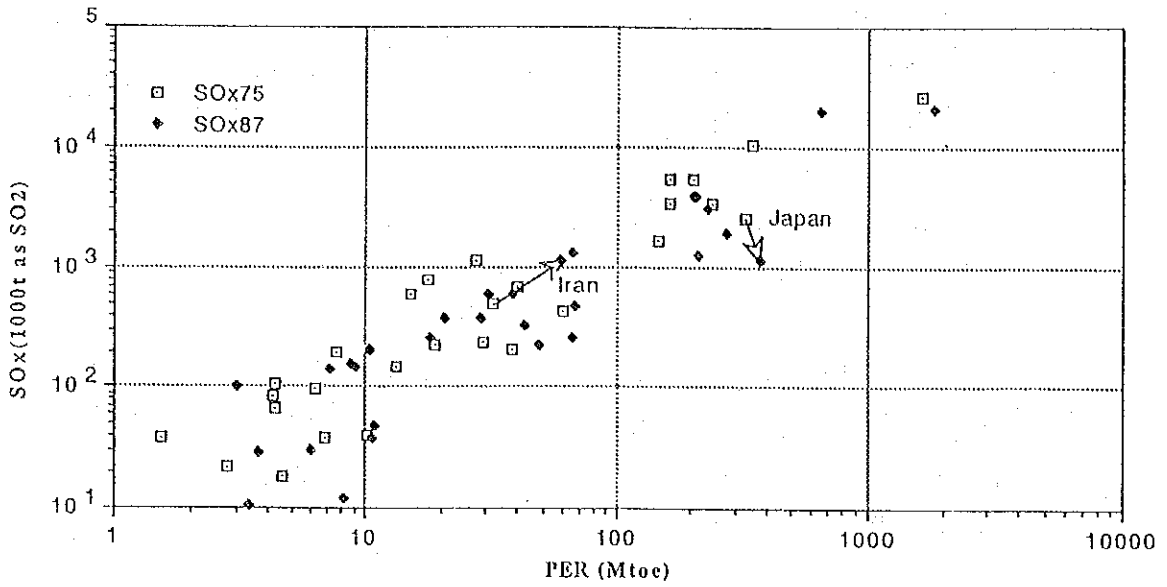


Fig. 6.31 NO<sub>x</sub> Emission - Primary Energy Requirement

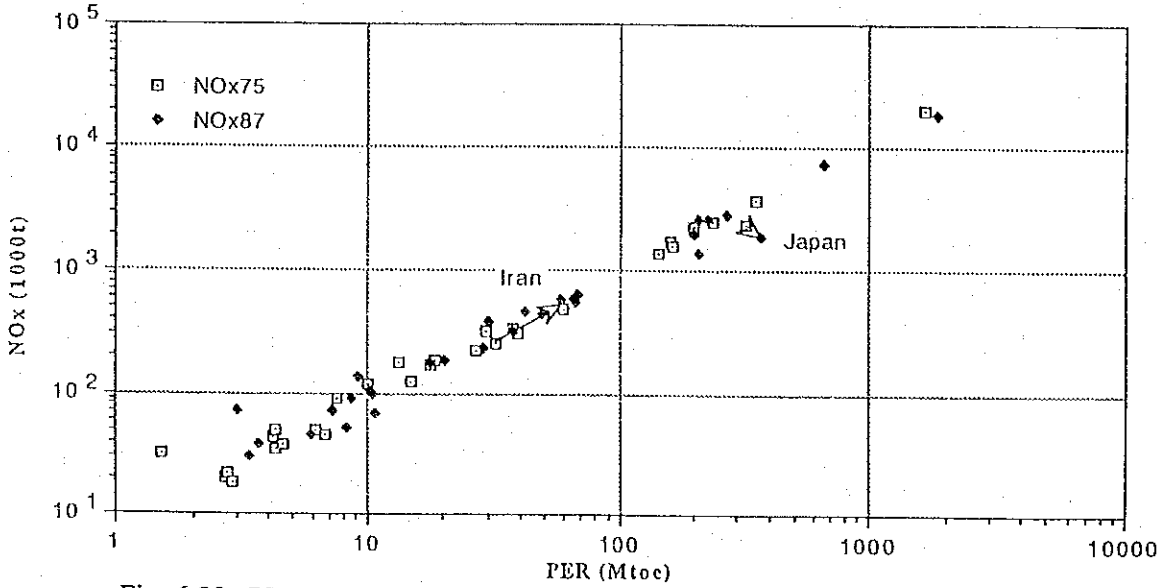
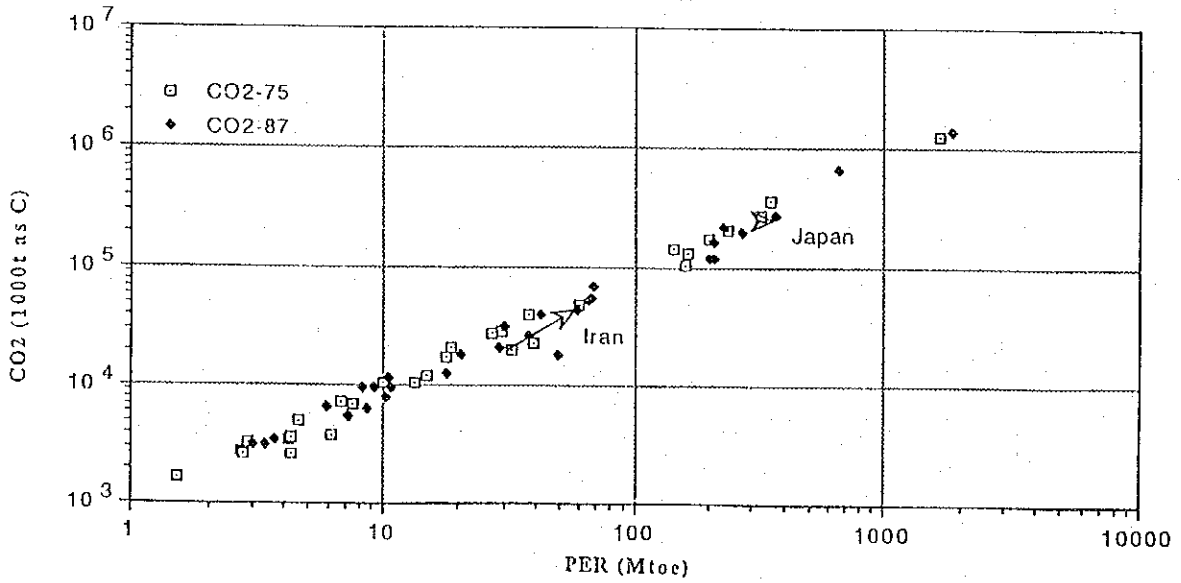


Fig. 6.32 CO<sub>2</sub> Emission - Primary Energy Requirement



る。付録の表における“TOTAL ASIA”とは、表中にある18カ国および2地域にブルネイ、カンボジア、ラオス、モルディブ、およびマカオの4カ国および1地域を加えたものである。

### 3) 工業国

付録の表(Ⅲ-6)では、アメリカ、カナダ、イギリス、オランダ、スウェーデン、ドイツ、フランス、および日本が工業国として選ばれている。これら諸国の環境関係データは“OECD Environmental Data 1993”からとられた。GDPは1980年価格に換算してある。上の2)に含まれている日本の数字(上記表Ⅲ-6の下の部分)とOECDの数字とは若干の差異が認められる。

#### (1) 1次エネルギー消費とSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>およびCO<sub>2</sub>排出量

図6.33, 6.34, 6.35(a), および6.35(b)はアジア諸国における1次エネルギー消費とSO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, およびCO<sub>2</sub>排出量の関係を示している。各国とも、対数目盛が用いられており、縦軸に排出量(1,000トン)、横軸に1次エネルギー消費(1,000TOE)が示されている。

上記2つの変数の線型相関分析が行われたが、その結果は以下の通り。

$$\text{SO}_x \text{ Emission} \quad \text{Ln}(\text{SO}_x) = -6.21 + 1.16 \text{Ln}(\text{PEC}) \quad \text{Rsqr.} = 0.918$$

$$\text{NO}_x \text{ Emission} \quad \text{Ln}(\text{NO}_x) = -4.14 + 0.95 \text{Ln}(\text{PEC}) \quad \text{Rsqr.} = 0.987$$

$$\text{CO}_2^* \text{ Emission} \quad \text{Ln}(\text{CO}_2) = 0.01 + 0.99 \text{Ln}(\text{PEC}) \quad \text{Rsqr.} = 0.997$$

\*: Carbon equivalent

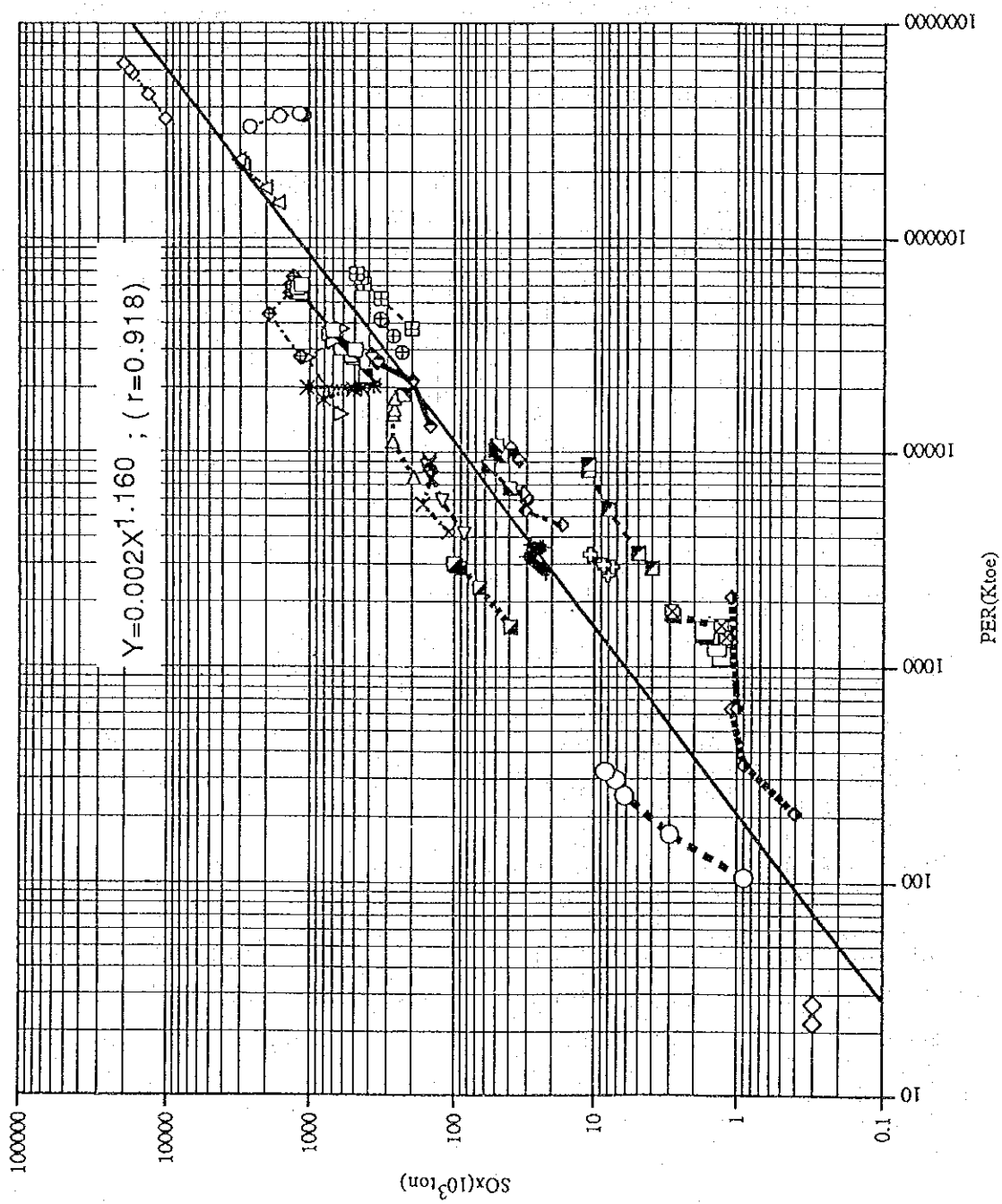
#### (2) 経済水準と排出量

図6.36, 6.37, 6.38(a), および6.38(b)はアジアにおける1人当りGDPと1人当り排出量の関係を示している。単位GDP当りの排出量は汚染物質排出の点からみた経済的効率を表わしており、この指標が小さいことは経済的効率が高いことを意味する。

その国の経済が主として1次電力(水力など)、植物系燃料、および天然ガスに依存している場合には、SO<sub>x</sub>およびNO<sub>x</sub>の排出は小さい。植物系燃料への依存はCO<sub>2</sub>排出を大きくする。

図6.36によると、アジアの発展途上国においては、SO<sub>x</sub>排出量は経済成長、あるいは1人当りGDPに比例して増大している。この傾向は、1人当りGDPが1,000~2,000ドルの水準に達するまで続き、それを超えると、反転する。この現象は次のような段階によって説明しうる。

Fig. 6.33 SO<sub>x</sub> Emission vs. Primary Energy Requirement



- |       |       |
|-------|-------|
| Iran  | China |
| Japan | India |
| Korea | Taiw  |
| N-Kor | Paki  |
| Phil  | Malay |
| Bang  | Viet  |
| Hong  | Sin   |
| Nep   | Myan  |
| lanka | Afgan |
| Mong  | Brun  |
| Camb  | Laos  |
| Maldi | Macao |

Fig. 6.34 NO<sub>x</sub> Emission vs. Primary Energy Requirement

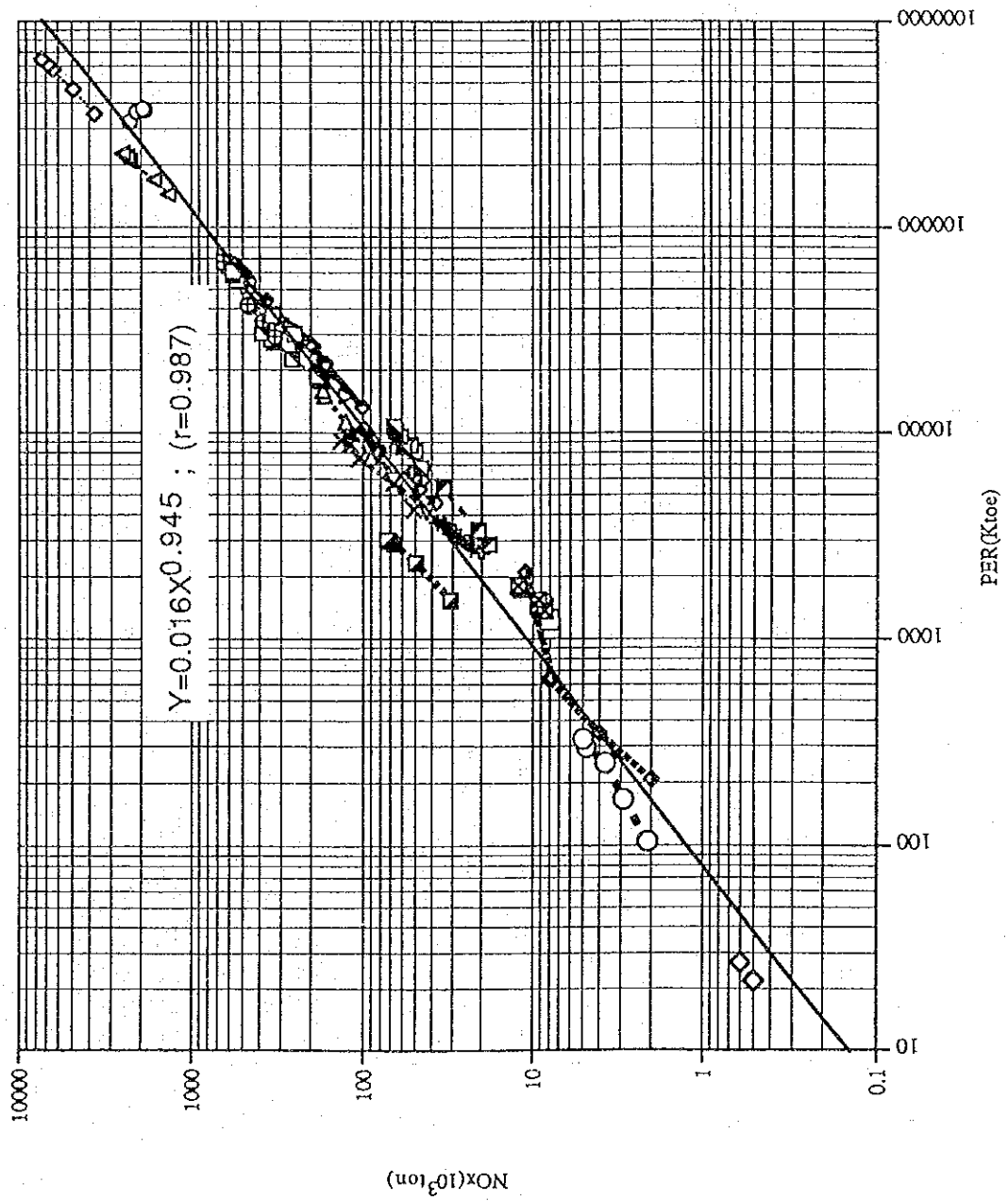


Fig. 6.35(a) CO<sub>2</sub> Emission vs. Primary Energy Requirement

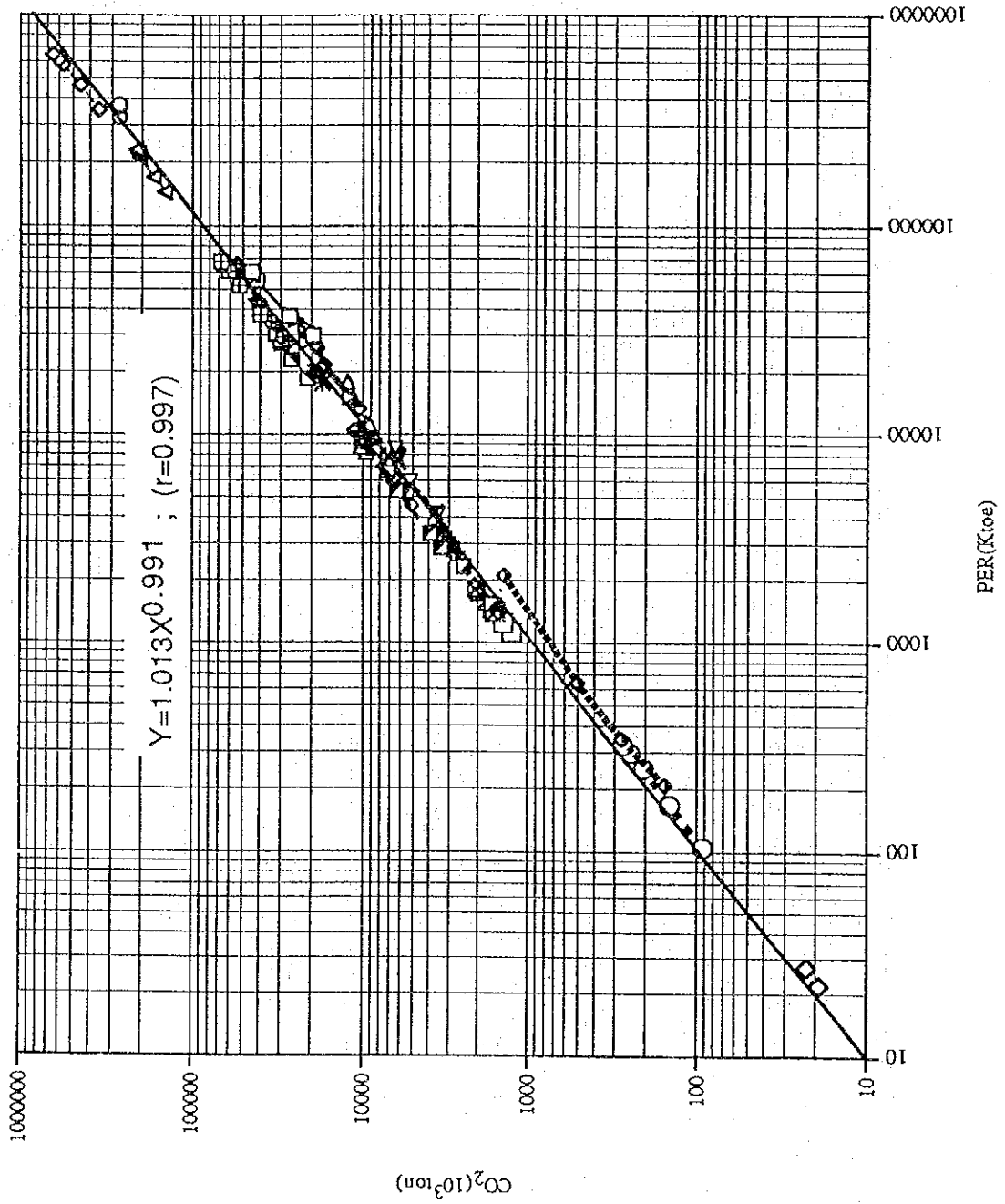


Fig. 6.35(b) CO<sub>2</sub> Emission vs. Primary Energy Requirement (Excludes Vegetative Fuel)

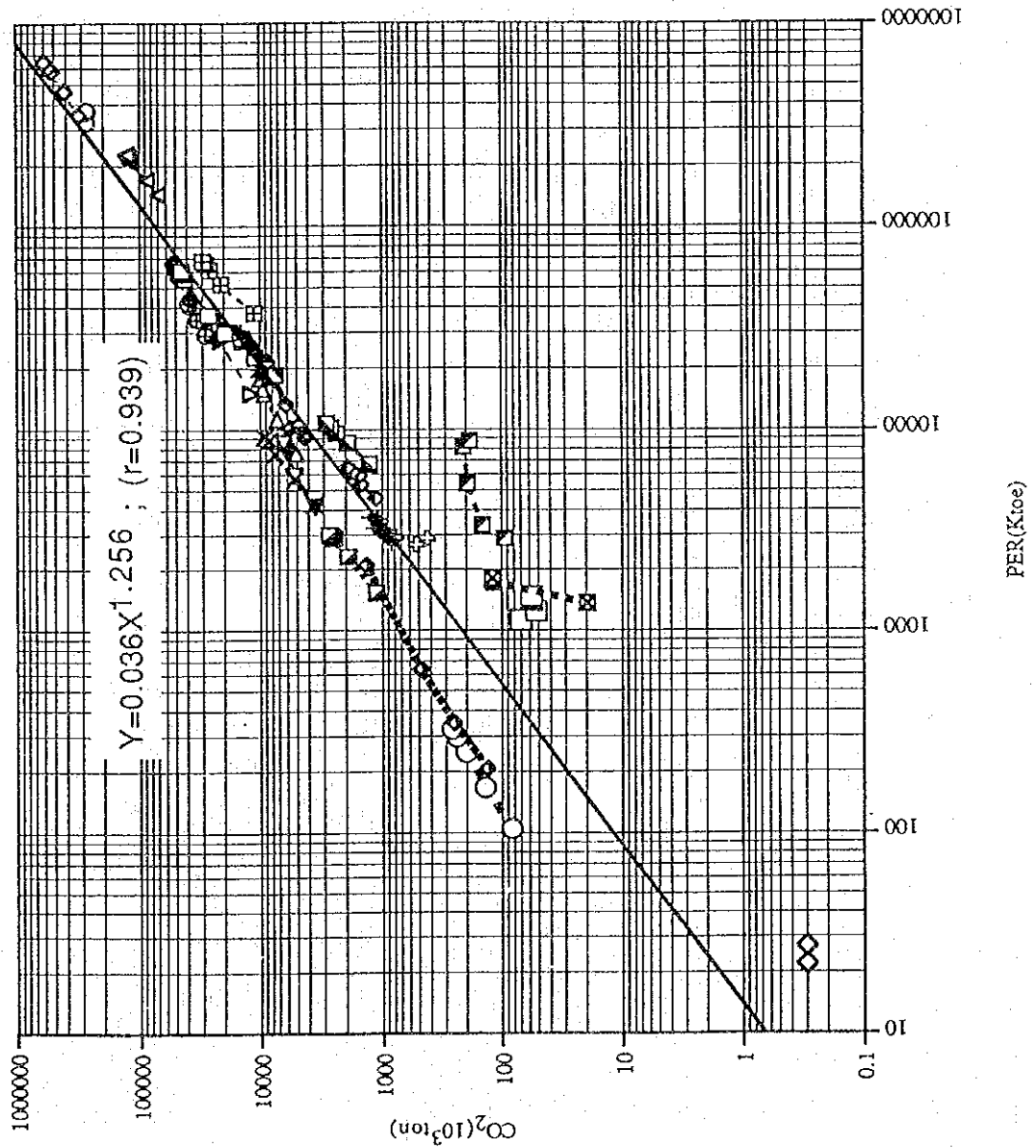
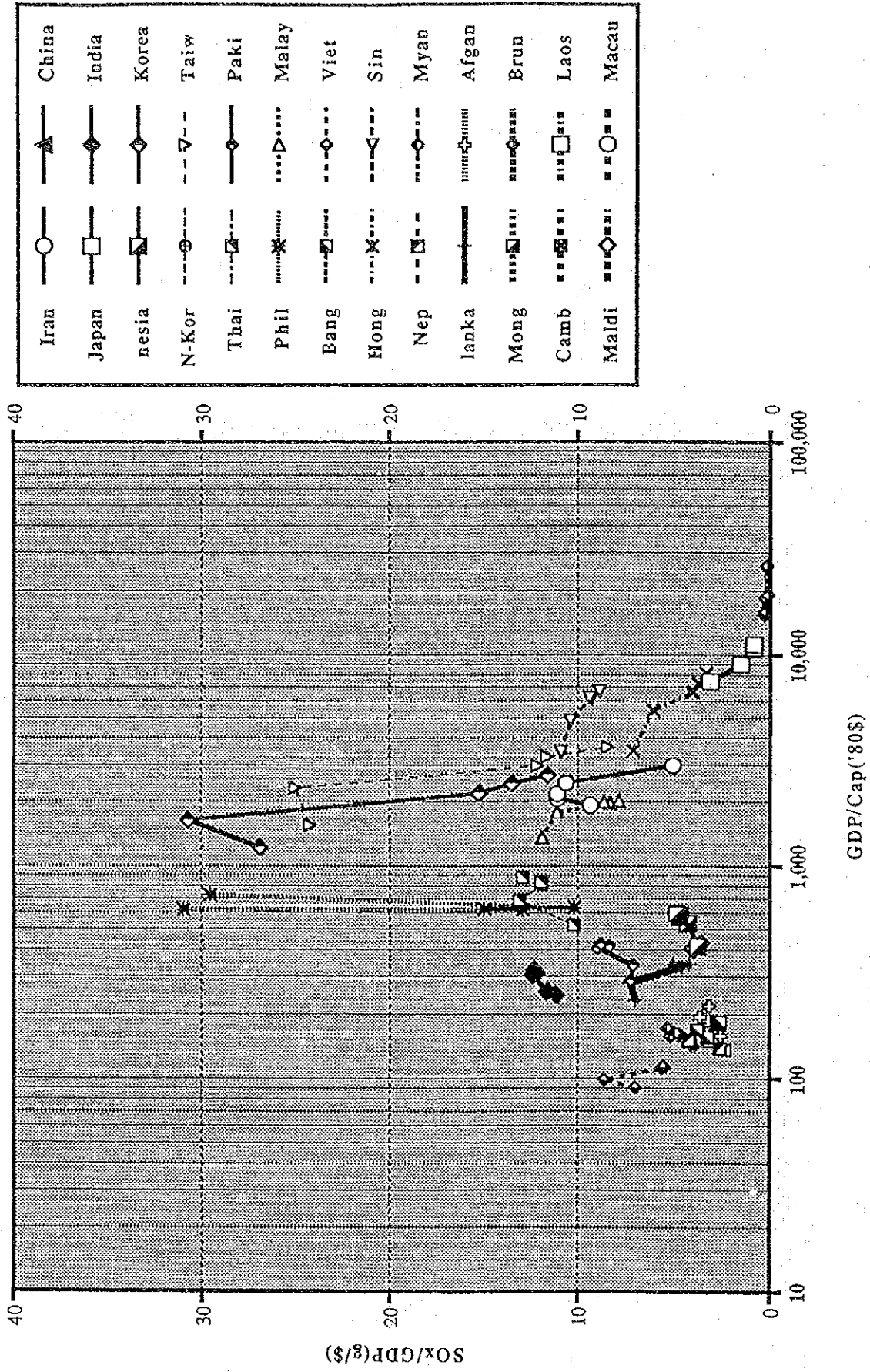


Fig. 6.36 SO<sub>x</sub> / GDP : GDP / Capita



SO<sub>x</sub> Emission Volume per GDP and Per-capita GDP  
 (includes emission volume from vegetative fuels)



a) 第1段階

経済が成長すると、エネルギー源は植物系燃料（SO<sub>x</sub>排出には寄与しない）から化石燃料（排出を促がす）へ移行する。この移行がGDP当りのSO<sub>x</sub>を上昇させる。

b) 第2段階

その国の工業化に伴い、GDP当りのSO<sub>x</sub>排出量はさらに増大する。

c) 第3段階

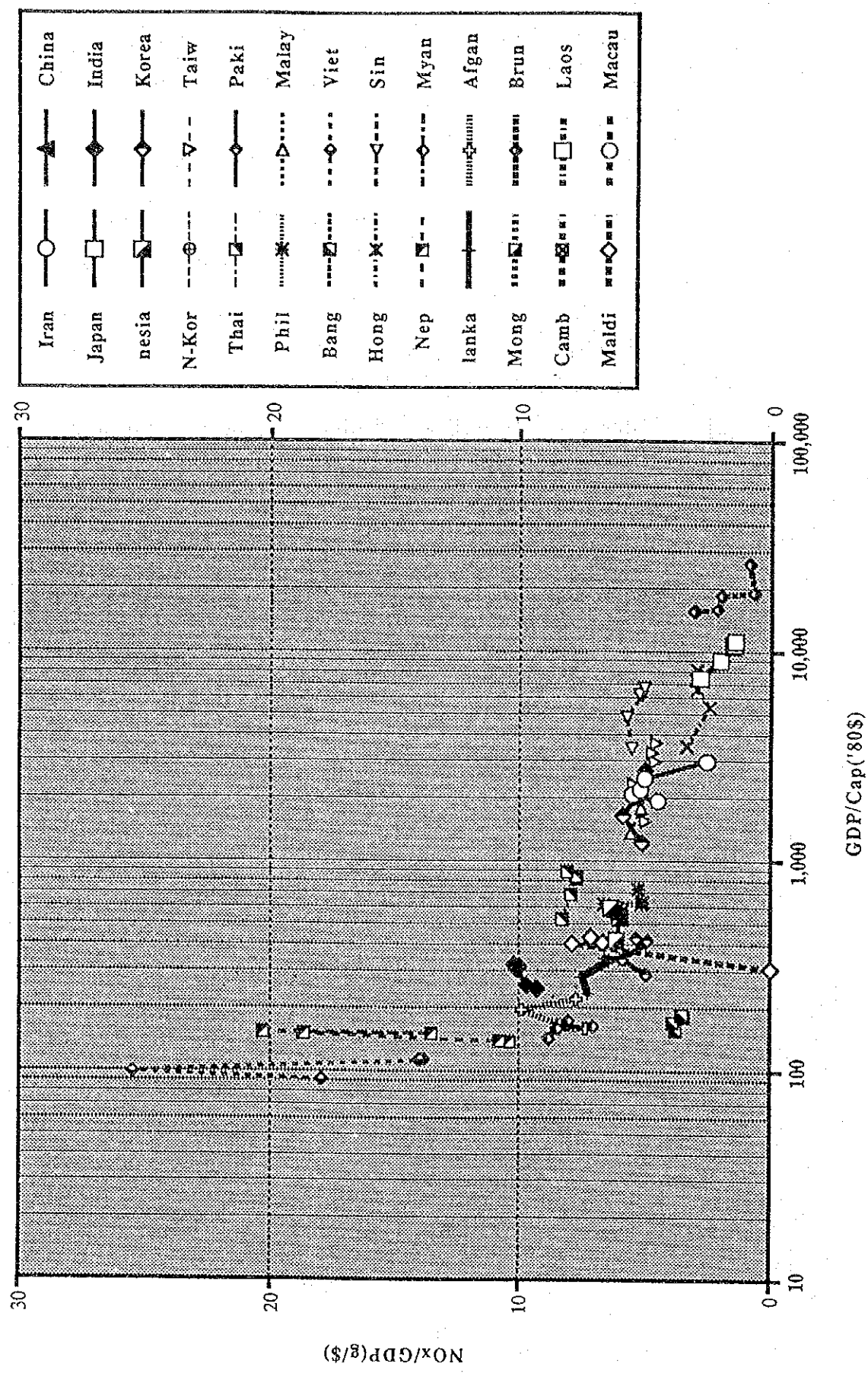
1人当たりGDPがある水準を超えると、エネルギー・インテンシティ、即ち、GDP当りのエネルギー消費は低下する、ということが出来る。この傾向は、経済が一定の開発水準に達した後、SO<sub>x</sub>排出量を低下させる。さらに、大気汚染対策がとられることにより、日本、韓国、台湾にみられるように、SO<sub>x</sub>排出量はさらに低下する。

図6.37にみられるように、GDP当りのNO<sub>x</sub>排出量は経済成長とともに減少する。しかし、NO<sub>x</sub>について、SO<sub>x</sub>と同様のGDP当り排出量の傾向を見出すことはむずかしい。

図6.38(a)および6.38(b)は、アジアにおけるCO<sub>2</sub>排出量を示している。前者は、植物系燃料を源とする排出量が含まれ、後者には、それが含まれていない。

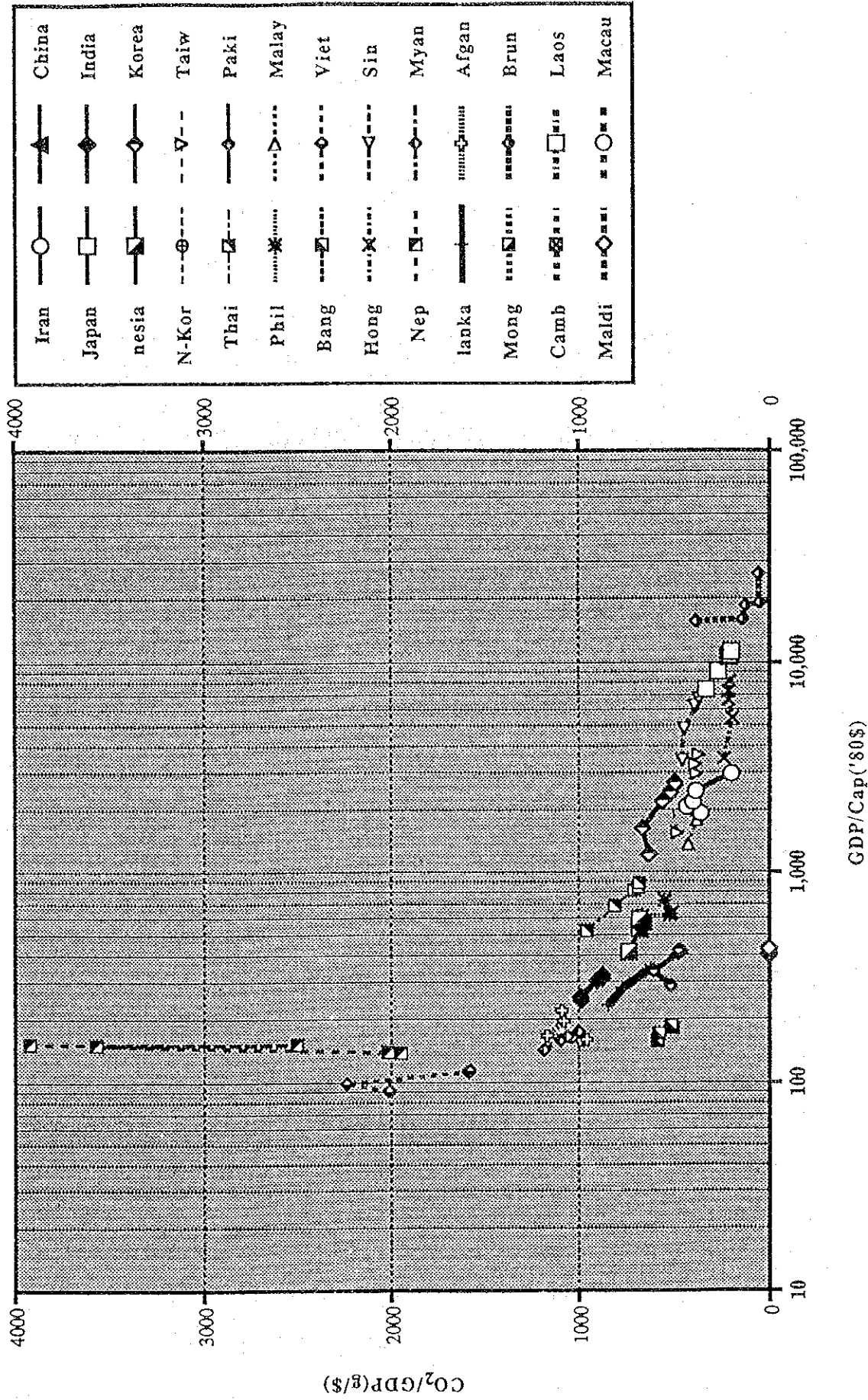
図6.38(a)では、GDP当りCO<sub>2</sub>排出量は経済成長とともに低下しているのに対して、図6.38(b)では、SO<sub>x</sub>排出量に関する図に示されたのと同様の傾向を示している。このケースでは、CO<sub>2</sub>排出量は1人当たりGDPが1,000~3,000ドルの水準に上昇するまで増大し、それを上回ると、この傾向は反転している。

Fig. 6.37 NO<sub>x</sub> / GDP : GDP / Capita



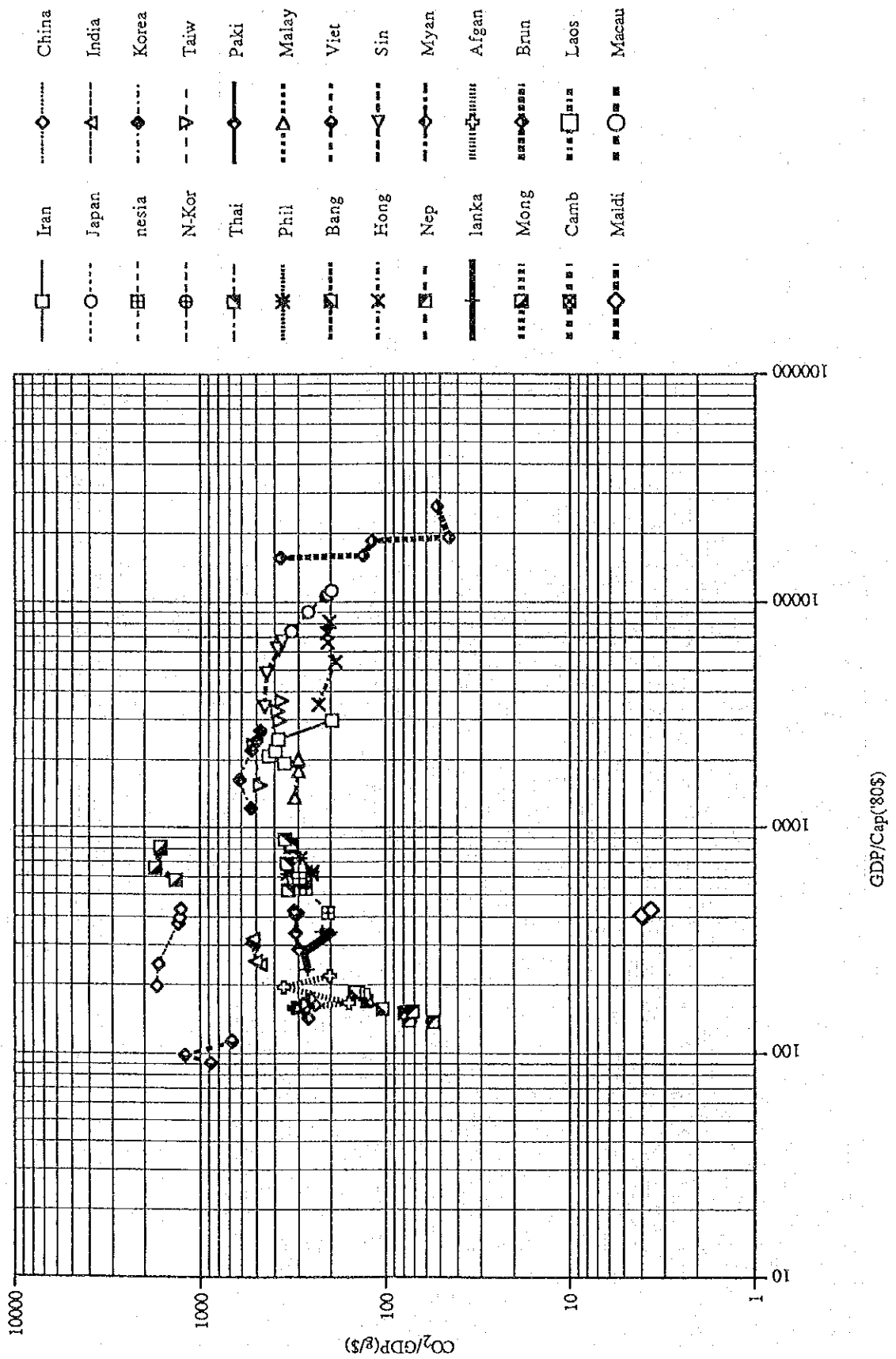
NO<sub>x</sub> Emission Volume per GDP and Per-capita GDP  
 (includes emission volume from vegetative fuels)

Fig. 6.38(a) CO<sub>2</sub> / GDP : GDP / Capita



CO<sub>2</sub> Emission Volume per GDP and Per-capita GDP  
(includes emission from vegetative fuels)

Fig. 6.38(b) CO<sub>2</sub> / GDP : GDP / Capita (Excludes Vegetative Fuel)



## 6.5 排出予測

### 6.5.1 エネルギーバランス表にもとづく排出予測

1968年から1990年までの実績に基づくエネルギーバランス予測（1990, 2001, 2011, 2021）結果は付録に収録されている。図6.39および6.40は予測された最終エネルギー需要をセクター別、燃料種別にグラフ化したものである。

SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, およびCO<sub>2</sub> 排出量計算に用いた排出係数は付録に示されている。

#### (1) エネルギー需要予測

##### 1) セクター別最終エネルギー需要

図6.39によれば、最終エネルギー需要は1990年を1とすると2001年, 2011年, 2021年にはそれぞれ2.1, 3.2, 3.8と直線的に増加している。セクター別にみて特に増加が著しいのは輸送部門で, 1990年を1とした場合, 2001年, 2011年, 2021年にはそれぞれ2.7, 5.1, 6.7となっている。

##### 2) 燃料種別最終エネルギー需要

図6.40によれば、燃料種別にみて特に増加が著しいのは電力, ガソリンで, 1990年を1とした場合, 2001年, 2011年, 2021年にはそれぞれ, 電力の場合, 2.4, 3.6, 5.2, またガソリンの場合, 2.7, 5.1, 6.9となっている。最終エネルギー需要におけるガスの割合は大きな増加を見せていない。1990年を1とした場合, 2021年時点に電力が5.2, 石油製品全体が約4.5に増加するのに対してガスは2.5となっている。ただし転換部門におけるガスの使用量増加は著しく, 発電におけるガス使用量は, 1990年を1とした場合, 2021年時点に7.6となっており, 同じく石油製品の3.6に対して大きく増加している。

#### (2) 排出予測

##### 1) セクター別予測

###### a) SO<sub>x</sub>

エネルギー消費量の増加に伴ってSO<sub>x</sub>総排出量も増加している（図6.41）。特に増加の著しいのは輸送部門, 及び転換部門で, 一方, 工業部門の増加はこれらと比較して大きくない。

総排出量に関しては1990年を1とした場合, 2001年, 2011年, 2021年にはそれぞれ,

Fig. 6.39

I. R. IRAN / Estimation of Energy Balance Table by JICA Team

Final Energy Demand by Sector ; with Forecast to 2021

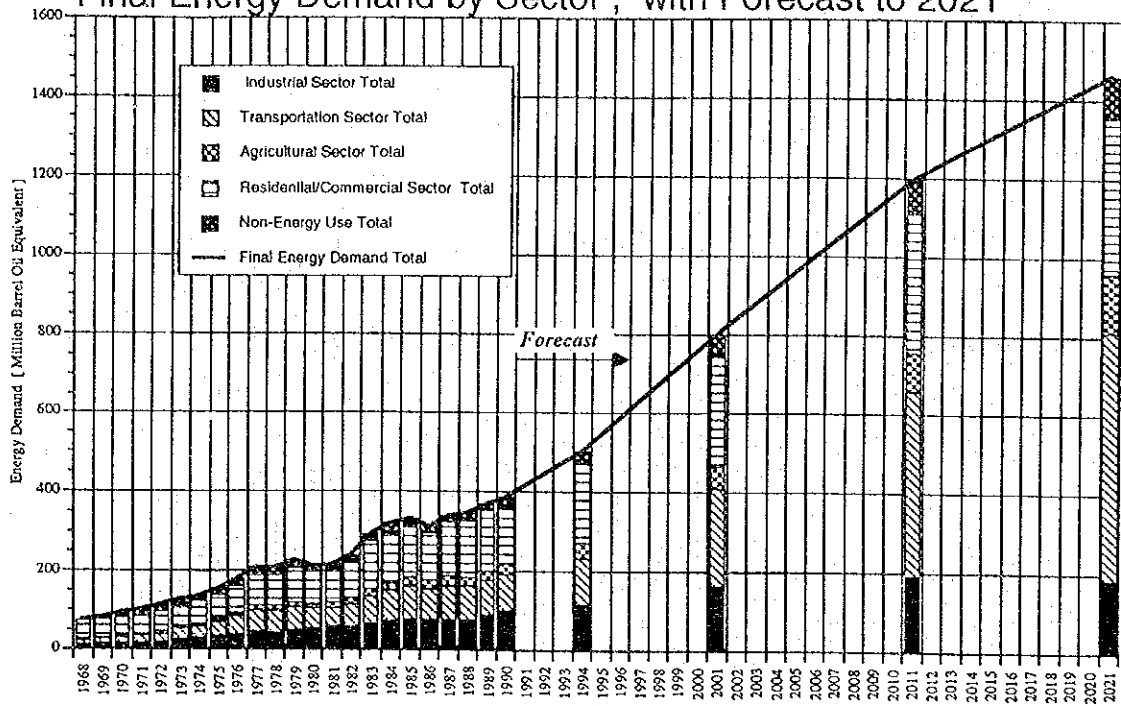


Fig. 6.40

I. R. IRAN / Estimation of Energy Balance Table by JICA Team

Final Energy Demand by Fuel ; with Forecast to 2021

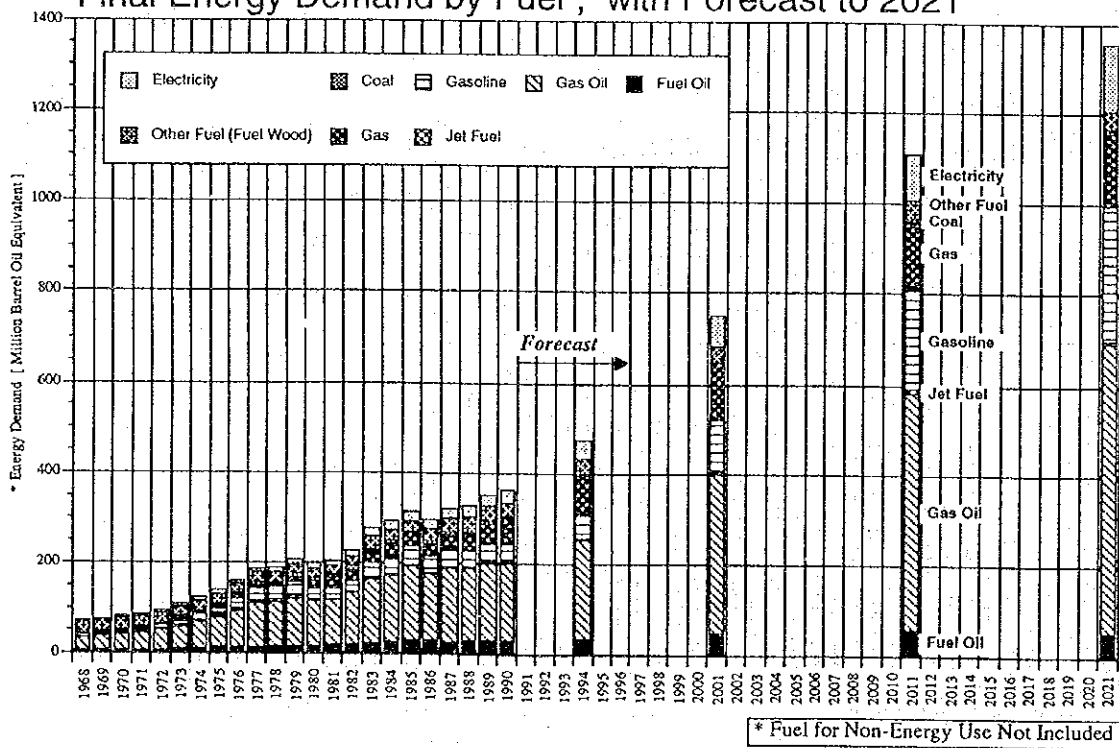


Fig. 6.41

SOx Emission by Sector with Forecast to 2021 ; I. R. IRAN

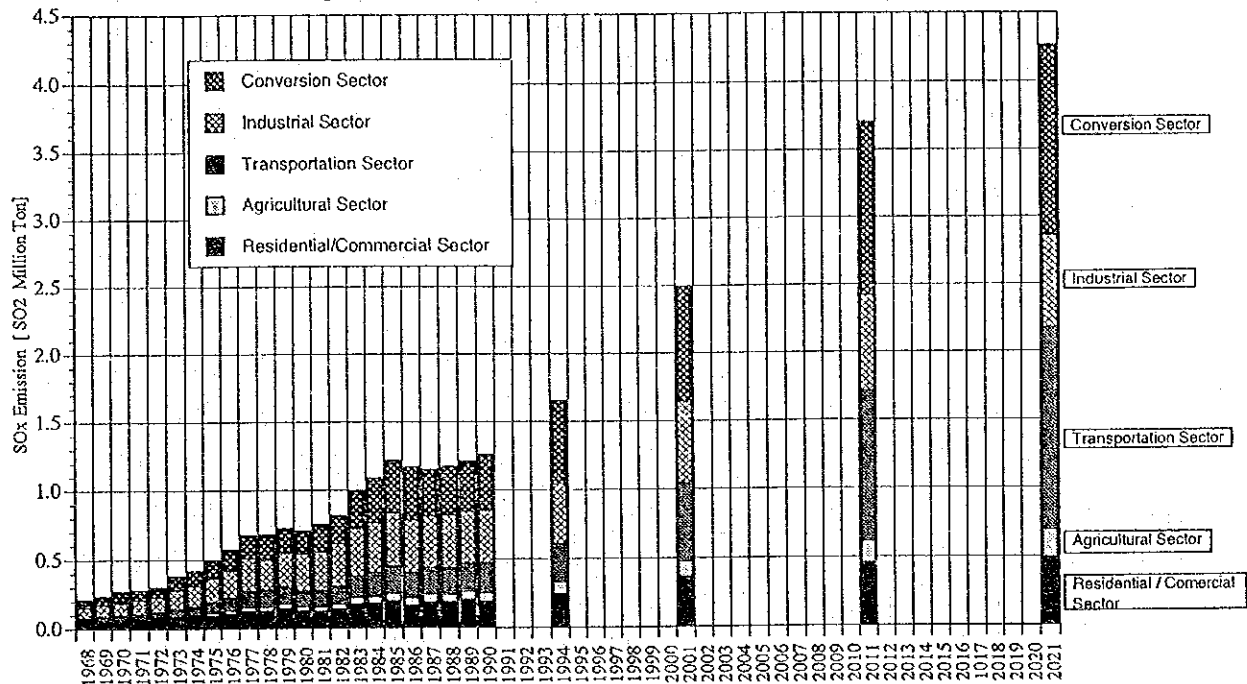
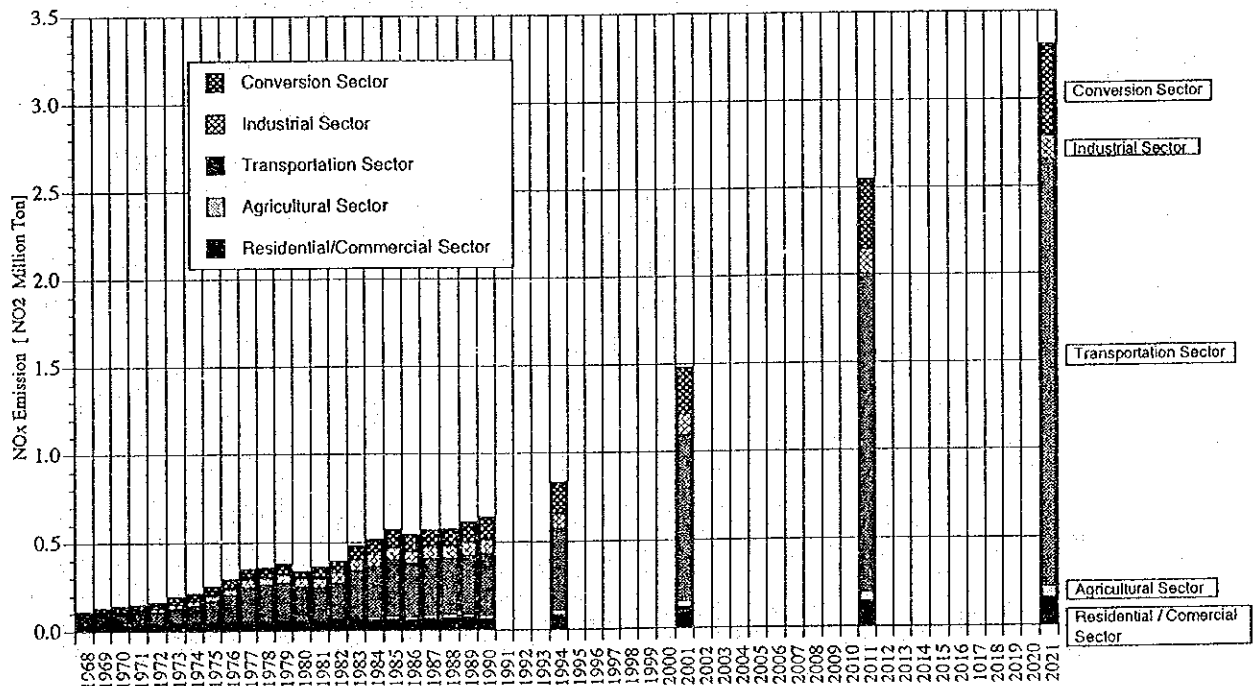


Fig. 6.42

NOx Emission by Sector with Forecast to 2021 ; I. R. IRAN



2.0, 2.9, 3.4である。輸送部門, 転換部門についてはそれぞれ, 2.7, 5.1, 6.9, および, 2.1, 3.2, 3.4である。これに対して工業部門の増加は同じく1.5, 1.8, 1.8となっている。各セクターの全体に占める割合では輸送部門が1990年時点の17%から2021年には35%に増加し, 一方で, 工業部門が同じく1990年の31%から2021年には16%に減少していることが特に目に付く。エネルギーバランス表では発電における天然ガスの使用が増加することが予想されており, このために転換部門のSO<sub>x</sub>排出量があまり大きくないものと解釈される。

#### b) NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub>排出量の増加は2021年には1990年レベルの5.2倍に達すると予想される(図6.42)。主たる増加原因は輸送部門における排出量の急激な増加で, 輸送部門では1990年を1とした場合, 2001年, 2011年, 2021年には2.7, 5.1, 6.9の排出が予想される。なお, エネルギーバランス表において輸送部門のガソリンと軽油の消費量増加傾向はほぼ同じであると予想されている。NO<sub>x</sub>総排出量に占める各セクターの割合では, 工業部門が省エネや構造変化の影響でNO<sub>x</sub>排出量を1990年の12%から, 2021年には4%に減じるのに対して, 輸送部門では1990年の55%が2021年には73%にまで増加することが特に目立つ。

#### c) CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>の総排出量はエネルギー消費の増加と同一傾向で増加し, 2021年には1990年レベルの3.9倍に達すると予想される(図6.43)。特に増加の著しいのは転換部門における発電と, 輸送部門である。1990年を1とした場合の2001年, 2011年, 2021年の排出量は, 転換部門では2.4, 3.7, 5.1, 輸送部門では2.7, 5.1, 6.9である。CO<sub>2</sub>総排出量に占める各セクターの割合では, 輸送部門のシェアが, 2021年には1990年時点のシェア21%の2倍近い37%に増加することが目立つ。

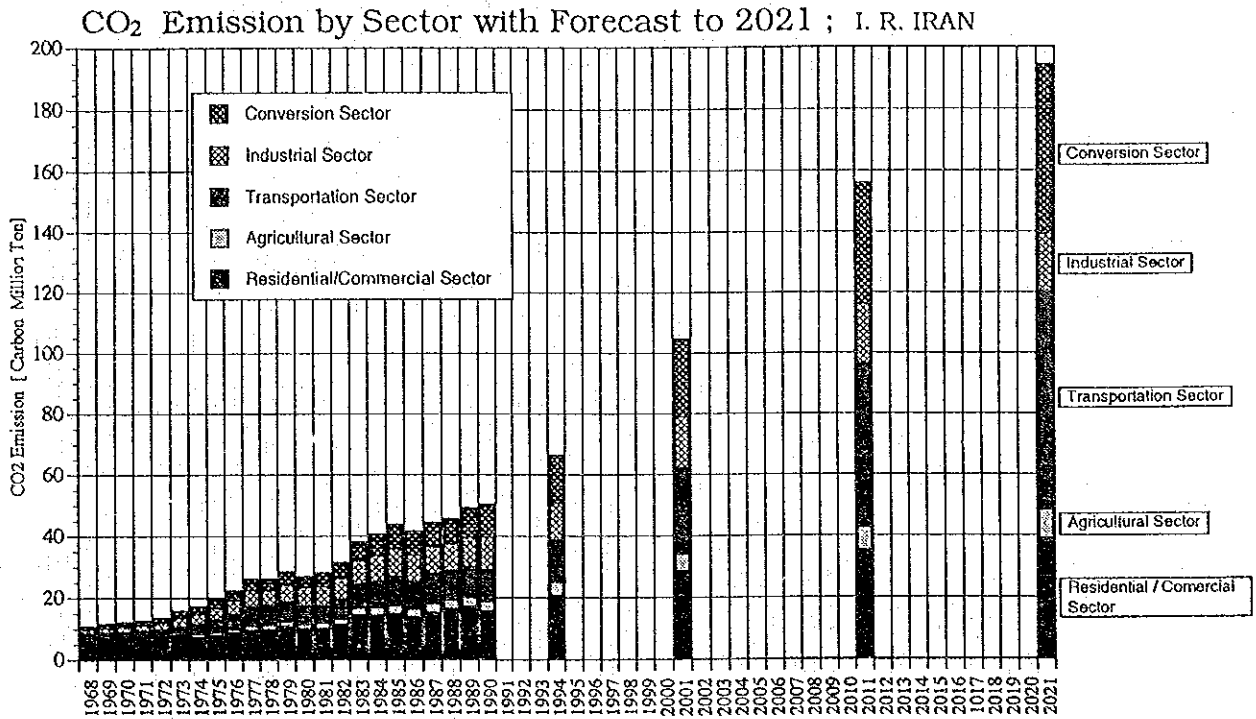
### 2) 燃料種別予測

#### a) SO<sub>x</sub>

SO<sub>x</sub>排出の燃料種別割合では97から98%を石油製品が占めている(図6.44)。従ってSO<sub>x</sub>排出量の変化は事実上石油製品に起因するSO<sub>x</sub>排出量の変化と言うことになる。石油製品からのSO<sub>x</sub>排出は, SO<sub>x</sub>総排出量に同じく, 1990年を1とした場合, 2001年, 2011年, 2021年にはそれぞれ2.0, 2.9, 3.4に増加している。ちなみにガスに起因するSO<sub>x</sub>排出は2021年には1990年レベルの5.1倍まで増加するものの, SO<sub>x</sub>排



Fig. 6.43



出量全体に占める割合が 0.1%以下と、元々きわめて小さいため、全体に対してほとんど影響を与えていない。

b) NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> 排出の燃料種別割合では88から90%を石油製品が占めている (図6.45)。残り10%の大半は、ガスに起因するものとなっている。予測期間内の増加の割合もこの2者が飛び抜けて大きく、1990年を1とした場合の排出量は、2001年、2011年、2021年には石油製品が2.3, 4.1, 5.3, ガスが2.8, 4.2, 6.3となっている。

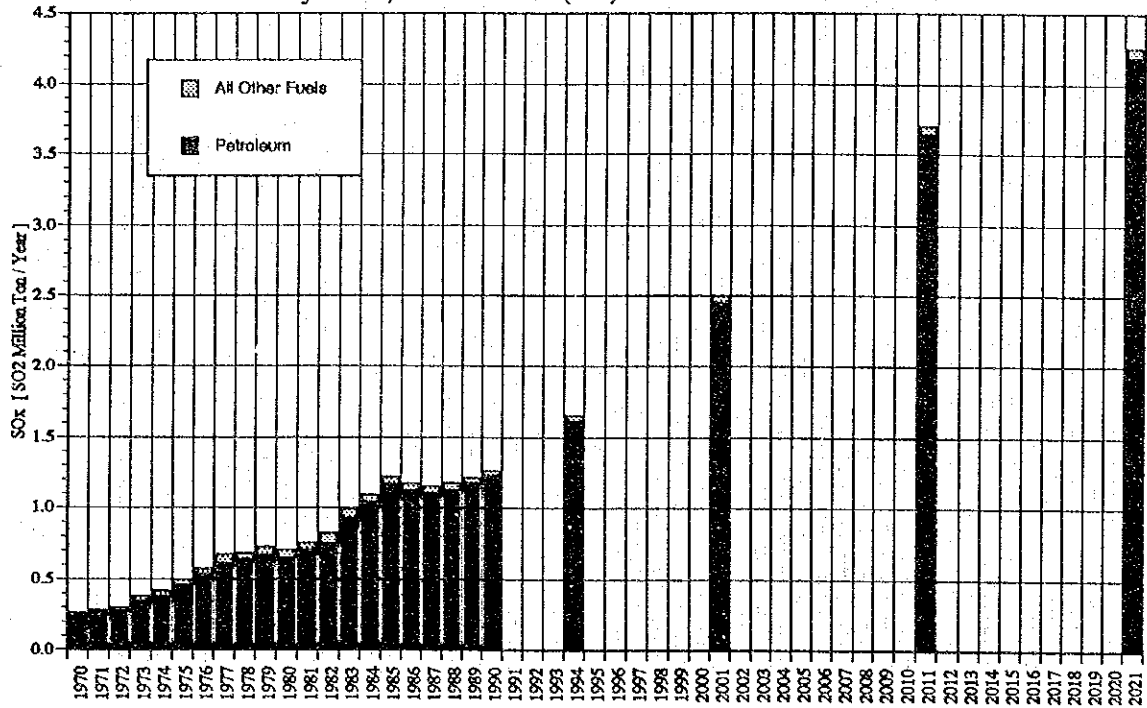
c) CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> 排出の燃料種別割合では約70%を石油製品が占めている (図6.46)。ついで20から25%の排出がガスに起因するものである。予測期間内の増加の割合もこの2者が飛び抜けて大きく、1990年を1とした場合の排出量は、2001年、2011年、2021年には石油製品が2.1, 3.2, 3.9, ガスが2.5, 3.6, 5.1となっている。

Fig. 6.44

Forecast

SOx Emission by Fuel ; I. R. IRAN (1/2)



Forecast

SOx Emission by Fuel ; I. R. IRAN (2/2)

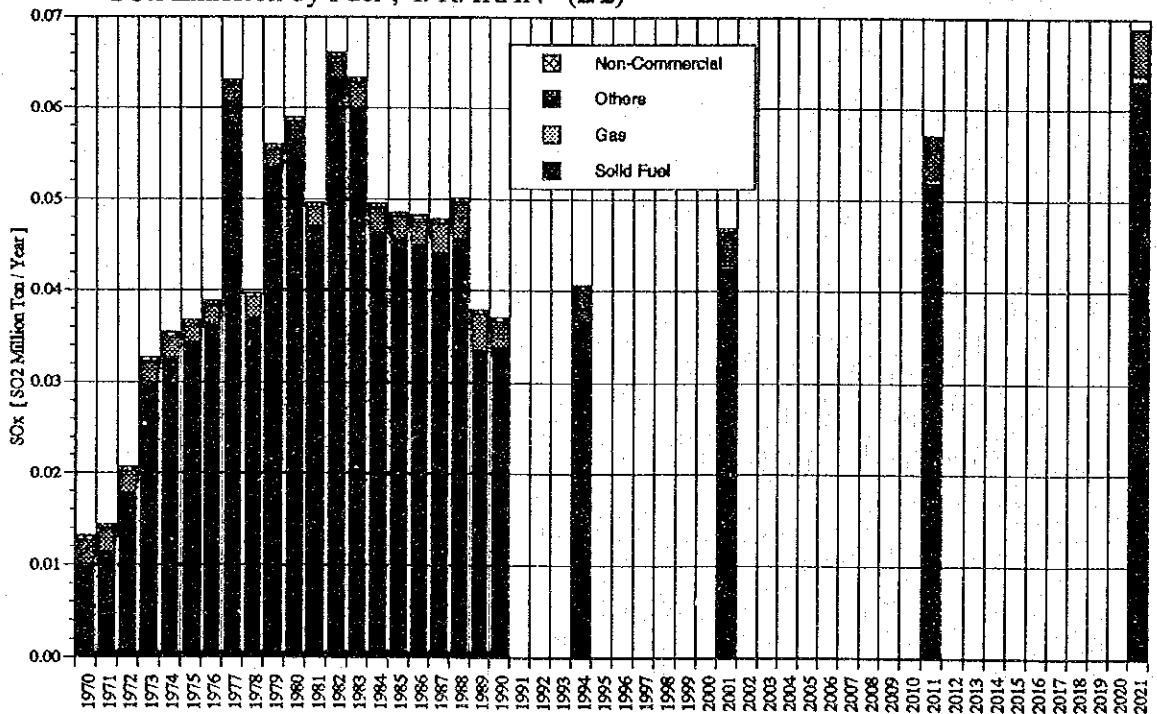
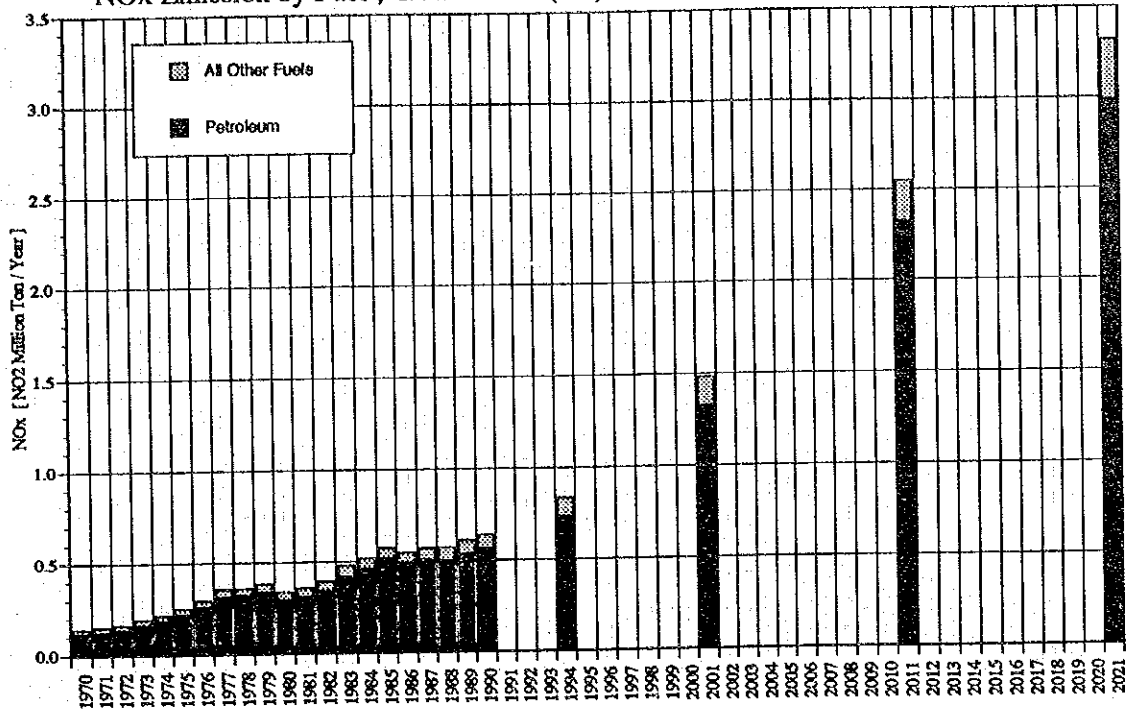


Fig. 6.45

Forecast  
NOx Emission by Fuel ; I. R. IRAN (1/2)



Forecast  
NOx Emission by Fuel ; I. R. IRAN (2/2)

